



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL: Ratolí Bluetooth per a cadira de rodes

AUTOR: Xavier Martínez Domínguez

DIRECTORS: Roberto Casas Nebra i Oscar Casas Piedrafita

DATA: 18 de juny de 2007

Títol: Ratolí Bluetooth per a cadira de rodes

Autor: Xavier Martínez Domínguez

Directors: Roberto Casas Nebra i Oscar Casas Piedrafit

Data: 18 de juny de 2007

Resum

Aquest treball és la segona part d'un projecte pel desenvolupament d'un ratolí Bluetooth per a discapacitats. Aquest dispositiu que està integrat a la cadira de rodes és capaç de reproduir les accions típiques d'un ratolí per l'ordinador ja que permet el moviment del punter, la realització dels clics dels botons i a més a més les accions addicionals doble clic i arrossegar-soltar.

Els principals objectius del projecte, a part de la creació del ratolí en si, són la necessitat de que aquest sigui de baix cost, que la duració de les bateries sigui la més llarga possible, simplicitat d'us i que estigui integrat a la cadira de rodes sense ser invasiu per que si es manipulés la cadira de rodes es perdria la garantia de la mateixa.

Aquests objectius són necessaris ja que hi ha moltes persones a les quals serà útil un dispositiu similar per moure's per aplicacions gràfiques que els permeten comunicar-se o gaudir d'una autonomia que sense un ordinador i un dispositiu senyalador (*mouse*) no podrien tindre. A pesar d'aquesta necessitat no poden accedir a ells degut al seu elevat cost o que simplement ja els hi es difícil dominar el *joystick* com per a haver d'aprendre a dominar un altre tipus d'interfície humà-ordinador de funcionament molt diferent. Per aquests motius i per no molestar a l'usuari amb artefactes per la cadira, el sensor d'inclinació, mitjançant el qual movem el punter, es situa solidari al mateix *joystick* de control de moviment de la cadira.

El dispositiu consta d'un acceleròmetre, que esta acoblat al *joystick* de la cadira de rodes, el qual està connectat a una caixa on s'ubica l'electrònica, dos botons i uns connectors jack per endollar commutadors per poder realitzar els diferents tipus de clics. La part de l'electrònica no és més que un microcontrolador, un petit condicionament per al senyal de l'acceleròmetre i un mòdul Bluetooth, el qual envia la informació a l'ordinador.

Per finalitzar s'ha construir un nou prototip, tot fent una cerca dels components pensant amb el consum i el cost, amb el qual s'han fet probes amb diferents usuaris per obtenir diversos punts de vista respecte al seu funcionament i poder fer que aquest sigui fàcil i adaptable per tot tipus de persones.

Title: Bluetooth mouse for wheelchair

Author: Xavier Martinez Dominguez

Director: Roberto Casas Nebra and Oscar Casas Piedrafita

Date: June, 18th 2007

Overview

This work is the second part of a project for the development of a Bluetooth mouse for disabled people. This device that is integrated in the wheelchair is capable of replaying the typical actions of a computer mouse because it allows the movement of the pointer, the realization of the button's clicks and the additional actions double click and drag&drop.

The main goals of the project, apart from the creation of the mouse itself, are the need of a low cost device, the longest duration of the batteries, simplicity of use and its integration in the wheelchair without invasive being because if the wheelchair is manipulated its guarantee would be lost.

These goals are necessary since there are many persons in whom a similar device will be useful to move around computer graphical applications that allow them to communicate or to enjoy an autonomy that without a computer and a pointing device (mouse) they couldn't have. In spite of this need they can not access to them due to its high cost or simply because it was already difficult for them to dominate the joystick and it represents a huge effort have to learn to dominate another type of human-computer interface of a very different functioning. For these motives and not to be annoying to the user with artifacts for the chair the sensor of inclination, through which we move the pointer, is placed solidary in the same joystick to control the movement of the chair.

The device consists of an accelerometer, that's coupled to the joystick of the wheelchair, which is connected to a box where is placed the electronics, two buttons and some jack connectors to plug in commutators for being able of do the different types of clicks. The part of the electronics is not more than a microcontroller, a small conditioning for the signal of the accelerometer and a Bluetooth module who sends the information to the computer.

To finish we've construct a new prototype, making a search of the components thinking with the consumption and the cost, with which we've made some test with different users to obtain several points of view respect to its functioning and to be able to make that this is easy and adaptable for every type of person.

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. ANTECEDENTS.....	3
1.1. Objectiu i requeriments del sistema.....	3
1.2. Descripció del funcionament del sistema.....	4
1.2.1 Diagrama de blocs del sistema	7
1.3. Prototip i els seus problemes	8
1.4. Objectius de la segona part del projecte	11
CAPÍTOL 2. ELECCIÓ DE COMPONENTS PRINCIPALS.....	12
2.1. Elecció del mòdul Bluetooth	12
2.2. Elecció del microcontrolador	12
2.3. Elecció de l'acceleròmetre	14
2.1.1. Condicionament del senyal	16
CAPÍTOL 3. GESTIÓ ENERGÈTICA I CONSUM.....	19
3.1. Alimentació	19
3.1.1. Alimentació del Circuit.....	20
3.1.2. Alimentació dels perifèrics.....	22
3.2. Mesures per a l'optimització de l'energia	23
3.3. Màquina d'estats.....	24
3.4. Consum	27
CAPÍTOL 4. ALGORISME DEL MICROCONTROLADOR.....	29
4.1. Canvis respecte l'anterior algorisme	30
4.2. Feedback amb usuaris i inclusió de recomanacions	32
CAPÍTOL 5. DISSENY DEL PROTOTIP FINAL.....	34
5.1. Subjecció i connexió del sensor d'inclinació.....	34
5.1.1 Peça definitiva per a la subjecció del sensor	36
5.2. Recerca de components i pressupost	37
5.3. Disseny de la PCB	40

CAPÍTOL 6. PROVES AMB EL PROTOTIP FINAL	42
6.1 Consum	42
6.2 Proves amb usuaris	42
6.2.1 Proves amb Joaquín Romero.....	47
6.2.2 Proves amb professionals del CFPE Pont del Dragó	48
CONCLUSIONS.....	50
7.1 Conclusions	50
7.2 Perspectives de futur	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANNEXOS.....	49
ANNEX 1. GRÀFICS AMB LA RELACIÓ V/G EN CADA EIX DE L'ACCELERÒMETRE.	49
ANNEX 2. BATERIES GP I PILES DURACELL.....	50
ANNEX 3. ESQUEMÀTIC DEL RATOLÍ BT.....	51
ANNEX 4. PLACA DE CIRCUIT IMPRÈS DEL RATOLÍ.....	52

INTRODUCCIÓ

Entre el grup d'Instrumentació, Sensors i Interfícies de l'EPSC [1] i l'empresa B&J Adaptaciones [2] ja fa uns anys que hi ha una estreta relació de la qual han sorgit projectes i col·laboracions enfocades al món de les persones amb discapacitat. Entre ells hi ha comunicadors, mòduls per al control d'entorn i també aquest treball fi de carrera que és un ratolí d'ordinador per discapacitats.

L'objectiu principal del projecte és la creació d'un dispositiu per usuaris de cadira de rodes elèctrica que permeti l'emulació de les funcions del ratolí. També es pretén donar un pas més en el camí per arribar a un producte de baix cost, de fàcil ús i no invasiu gairebé apte per a la seva comercialització.

El projecte del ratolí Bluetooth per discapacitats el va iniciar en el seu moment l'alumna Olalla Romero Granados obrint el camí amb el TFC "RATON BLUETOOTH PARA DISCAPACITADOS (I)" [3]. En aquell TFC es van cercar les diferents alternatives de ratolí, o interfície humà-ordinador, per persones amb discapacitat que es disposava actualment al mercat i també les que formaven part de projectes d'investigació. Per nombrar-ne algunes podríem parlar de les que determinen el moviment del punter pel reconeixement de comanes de veu, dispositius que ho fan a partir de la inclinació del cap, altres que es fixen amb el moviment de la pupila per determinar on movem el mouse o fins i tot les que ho fan per impulsos cerebrals.

Finalment entre les possibilitats es va optar per fer que el ratolí es controlés amb el *joystick* de la cadira de rodes degut a que és l'opció més simple i intuïtiva d'utilitzar per part de l'usuari. Els dispositius que es trobaven al mercat que integraven la captació de moviment al comandament o bé requerien obrir el mòdul del comandament i per tant perdre la garantia de la cadira, o eren una opció de les cadires de gama alta les quals s'escapen del poder adquisitiu de la majoria de la gent.

Així es va poder constatar que un producte com el que es volia desenvolupar podria esdevenir un ajut per a moltes persones a les quals els facilitaria l'accés a l'ordinador. Ordinador que s'ha convertit en una clau molt important per elles i que els hi obre portes en aspectes tan diferents com la seva educació, poder comunicar-se, la seva mobilitat, entre d'altres i tot això desemboca en la millora de la seva qualitat de vida.

L'Olalla Romero va arribar a fer un prototip el qual captava el moviment a partir d'un sensor d'inclinació, també anomenat acceleròmetre, que com el seu nom indica ens dona un senyal proporcional a la inclinació respecte al pla de terra. A partir d'aquest senyal es calcula el moviment del punter de l'ordinador. Aquell prototip funcionava d'una forma bàsica que s'havia de millorar i que tenia problemes de funcionament, com ara retard entre moviment de la palanca i el del punter. La gestió energètica tampoc s'havia tractat a fons deixant-se per aquesta continuació.

Els capítols de la memòria s'han dividit en l'ordre que es va seguir durant el transcurs del projecte per donar una idea més clara de quina feina es va fer i les repercussions que tenen les decisions preses sobre les accions posteriors a elles. En els capítols anem des de presentar els antecedents de la primera part a les proves amb el prototip final, passant per una primera elecció de components rellevants, analitzar i fer canvis a l'algorisme del microcontrolador, ocupar-nos de la gestió energètica i el consum i posteriorment fer el disseny del prototip final per acabar fent les proves amb ell.

Per acabar amb la introducció dir que per facilitar la lectura es fan servir les següents abreviatures al llarg de la resta del treball:

BT	Bluetooth.
µC	Microcontrolador

CAPÍTOL 1. ANTECEDENTS

Com ja hem comentat a la introducció, aquest projecte s'ha fet en dues parts: la primera va córrer a mans de l'Olalla Romero qui començant des de zero va definir l'objectiu i els requeriments del sistema a assolir, als quals s'ha d'arribar en aquesta segona part. També es va definir el funcionament global del sistema, o sigui d'on provenen les dades per a les accions del ratolí, com s'han de tractar i com s'han d'enviar per a poder obtenir el resultat que volem. Finalment es va fer un prototip a mode de proves (**Fig. 1.1**) que permetia l'emulació del ratolí de forma bàsica, però que encara tenia la necessitat d'evolucionar de cara a assolir els requeriments que es van exigir per al dispositiu.

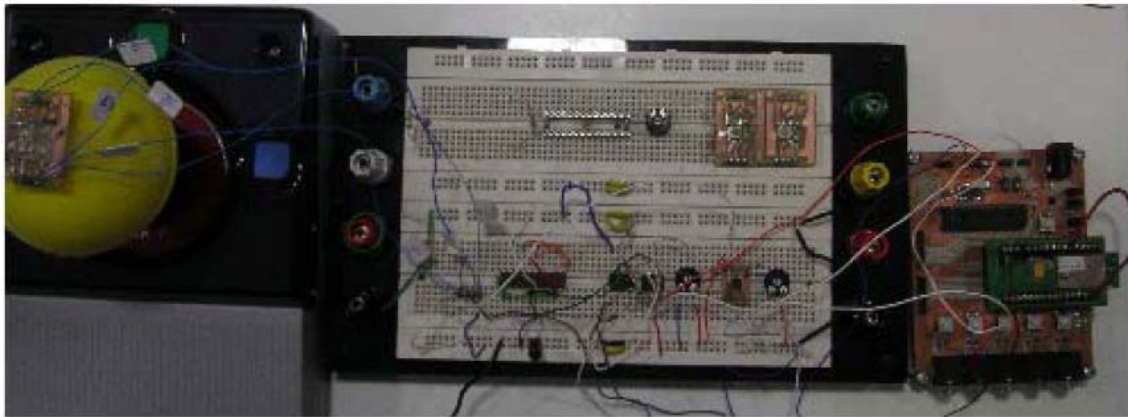


Fig.1.1 Imatge del prototip de l'Olalla

Tots aquests punts tenen suficient rellevància per a la comprensió del projecte com per a explicar-los més detingudament a continuació.

1.1. Objectiu i requeriments del sistema

Durant tot el projecte s'ha treballat sobre un objectiu final per al sistema: que una persona que pot utilitzar el *joystick* de la cadira de rodes (sense importar el tipus), pugui fer servir el dispositiu per al control de la seva PDA o ordinador personal. Aquest objectiu i la interacció de l'usuari amb el dispositiu ens defineixen els següents requisits per al dispositiu:

- El moviment del punter ha de ser controlat amb el *joystick* de la cadira de rodes independentment del seu tipus i posició. No tots els usuaris utilitzen el mateix mecanisme per a desplaçar-se i aquest no sempre tindrà el mateix grau d'inclinació respecte a la vertical.

- La garantia del fabricant de la cadira de rodes no s'ha de perdre. Per tant no es pot manipular físicament el *joystick* fet que podria suposar un problema a l'hora de reparar la cadira si hi hagués un defecte de fabricació.

- El control de desplaçament de la cadira de rodes no ha de veure's afectat pel sistema.

- El clic dels botons del ratolí, dret, esquerre i altres accions del ratolí com el doble clic o el *drag* (arrossegament), han de ser configurables i permetre interfícies adaptades (commutadors,...). Encara que el botó dret i l'esquerre han d'estar integrats al sistema.

- Degut a que les persones amb discapacitat fan servir molts dispositius electrònics ha de ser el més compatible possible amb ordinadors de sobretaula, portàtils, PDAs i qualsevol altre dispositiu d'aquesta classe.

- La connexió entre el sistema i l'ordinador ha de ser transparent (mínima configuració per part de l'usuari) i sense fils per facilitar l'accés a l'usuari.

- S'ha de requerir el mínim software a l'ordinador principal.

- Ha de ser fiable, ja que possiblement el sistema seria la única interfície amb l'ordinador que tindria l'usuari i fins i tot ser el seu únic mitjà per comunicar-se.

- El baix cost és fonamental, ja que en molts casos la majoria de persones amb discapacitat no poder accedir a aquests tipus de sistemes degut al seu elevat preu.

- El sistema ha de tindre un consum baix per tal de poder gaudir de la major autonomia possible.

1.2. Descripció del funcionament del sistema

El sistema que s'ha implementat està destinat a oferir una comunicació sense fils entre el nostre ratolí i una PDA, TabletPC o similar, que disposi de tecnologia Bluetooth i el perfil HID (*Human Interface Device*) [4]. Mitjançant aquest perfil inclòs a les especificacions BT podem enviar les ordres necessàries per a que el nostre dispositiu actuï i sigui reconegut com un ratolí. L'avantatge que disposa fer servir això és que la majoria d'ordinadors personals, mòbils i altres aparells similars que disposen de Bluetooth porten inclòs aquest perfil i així no cal afegir software addicional ni controladors, cosa que fa molt més senzilla la configuració de la connexió. Amb el BT també aconseguim que dos usuaris puguin treballar amb el seu ratolí i el seu PC sense interferir-se gràcies a l'emparellament dels seus respectius dispositius.

En els capítols de l'algorisme i el de gestió energètica es parla del *pairing* o emparellament, aquest terme és important que quedi clar ja que és molt

important en la tecnologia Bluetooth. En els dispositius BT sempre hi ha un mestre i un esclau, per a que hi hagi intercanvi de dades entre ells primer han de memoritzar les adreces físiques l'un de l'altre i intercanviar claus de xifrat i altres variables per a que sigui possible una comunicació segura entre ells, aquest intercanvi és el que es coneix com emparellament. Diem que el nostre dispositiu està emparellat quan ha memoritzat aquestes variables de l'ordinador amb el que l'emparellem i això implica que només es comunicarà amb aquest ordinador. Per a poder fer-lo servir amb un altre dispositiu hem de desemparellar-lo, esborrant de la memòria aquestes variables, i tornar a emparellar-lo de nou amb l'actual dispositiu.

El control del moviment del ratolí es realitza des del mateix *joystick* de la cadira el qual té un sensor d'inclinació solidari amb ell, permetent moure el cursor amb el mateix element amb el que desplacem la cadira de rodes. Així l'usuari no ha de realitzar un esforç per a dominar un altre tipus de control a part d'aquest *joystick*, per a molts això podria ser una barrera difícil de superar.

Al mateix ratolí disposarem de dos botons, per realitzar el clic esquerre i el clic dret. També tenim quatre connectors minijack, els quals ens permeten connectar commutadors externs especials com els que podem veure a **Fig. 1.2**. Mitjançant aquest podrem realitzar les dos accions anteriors i a més a més la de doble clic i la d'arrossegar-soltar.



Fig 1.2 Diferents tipus de commutadors

Una d'aquestes accions addicionals permet fer amb una sola pulsació d'un commutador el doble clic. Aquesta doble pulsació del botó esquerre molt comú a les interfícies gràfiques d'usuari pot ser complicada de fer per als usuaris als quals ens adrecem. L'arrossegar-soltar (*drag&drop*) a la primera pulsació emula que estem prement contínuament el botó esquerre, llavors podem arrossegar objectes per la pantalla sense prémer cap botó, quan polsem qualsevol botó per al sistema equival a soltar-lo. Aquesta acció pot ser útil per exemple per fer un dibuix a l'ordinador, per fer-lo hauríem d'estar prement un polsador mentre movem el punter i això també seria molt complicat per a certes persones.

A més a més existeix una zona morta al voltant de la posició de repòs on no tenim moviment del punter, això elimina que es mogui el punter per vibracions de la cadira o pel soroll que pugui captar el sistema els quals farien que es mogués el punter sense que realment ho hagués de fer.

El nostre ratolí té dos modes de funcionament, el mode polsador o dos eixos i el mode totes direccions. El primer es comporta com si movem el ratolí amb 4 polsadors, un per a cada sentit, només ens movem sobre l'eix vertical, l'horitzontal i les diagonals que s'obtenen combinant-los. A de més el punter es mou a velocitat constant independentment de la inclinació de la palanca (**Fig. 1.3**). El mode totes direccions, com el seu nom indica, no ens limita el moviment a certs eixos i la velocitat de desplaçament del punter és proporcional al grau d'inclinació (**Fig. 1.4**).

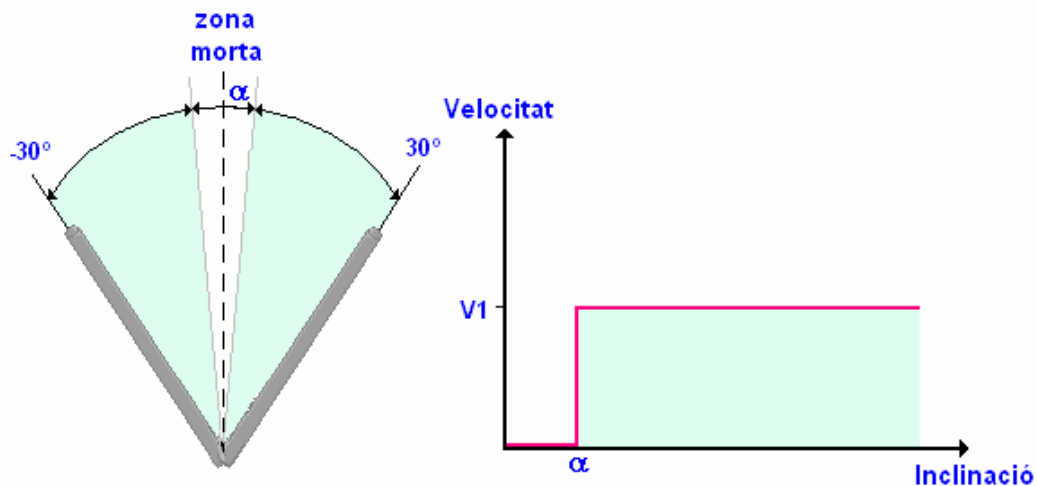


Fig. 1.3 Relació inclinació-velocitat en mode polsador.

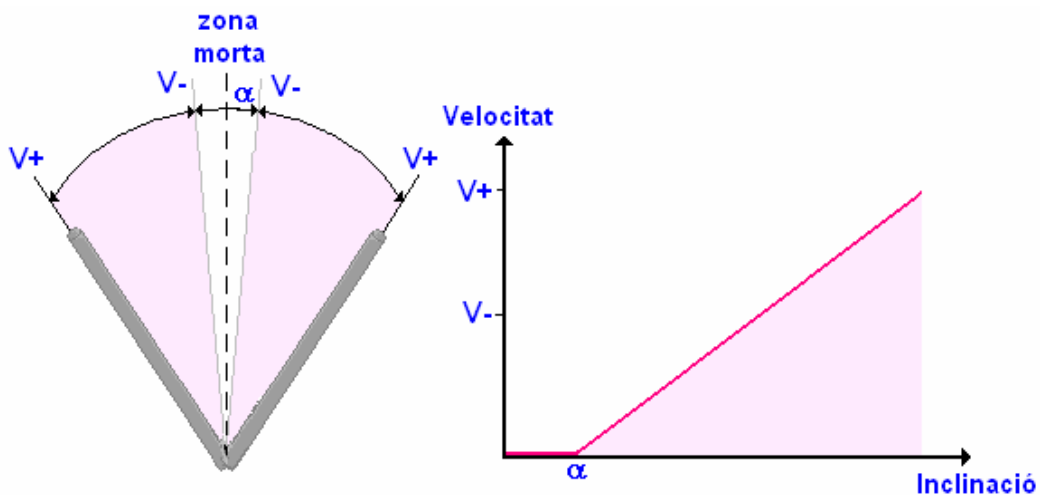


Fig. 1.4 Relació inclinació-velocitat en mode totes direccions.

1.2.1 Diagrama de blocs del sistema

El diagrama de blocs (**Fig. 1.5**) per tal d'analitzar el nostre sistema és el següent:

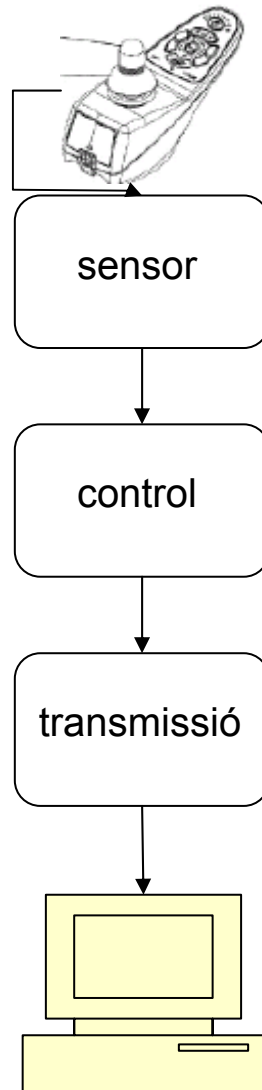


Fig. 1.5 Diagrama de blocs del sistema

El primer bloc, sensor, està format per un acceleròmetre biaxial que el farem servir de sensor d'inclinació, el qual té dos sortides amb una amplitud proporcional a la força de la gravetat en els eixos X i Y. Aquest senyal s'ha d'amplificar i adaptar a l'entrada del nostre conversor analògic/digital i per tal de fer això aquest bloc del sensor també inclou un circuit de condicionament format per un filtre pas baix i un amplificador.

El principal integrant del bloc de control és un microcontrolador, amb un led i uns botons o commutadors per a la interacció amb l'usuari, i una sortida sèrie per comunicar-se amb el bloc de transmissió. El microcontrolador és l'encarregat de captar els senyals provenint de tots aquests components

(sensor, botons i commutadors), interpretar-los i enviar la informació pertinent al bloc de transmissió.

El bloc de transmissió inclou un xip Bluetooth al qual se li envien bytes per la interfície sèrie del microcontrolador i aquest els envia a l'ordinador. Aquest xip s'encarrega de tot el referent a la transmissió del dispositiu, com ara l'emparellament, potència de TX o guardar informació del dispositiu amb el que s'ha emparellat entre d'altres. L'estructura del paquet que s'envia al mòdul BT consta de 8 bytes, la informació que contenen es pot veure a la **Taula 1.1** extreta del TFC de l'Olalla Romero:

Taula 1.1 Estructura dels paquets que s'envien al mòdul Bluetooth

Byte	Value	Description
0	0x08	Length of packet in bytes (including this byte)
1	0x00	Type of packet: Forward HID Report.
2	0xA1	HID Input Report Header
3	0x02	ReportID
4	buttons	Bit0 is LEFT button, bit1 is RIGHT button, bit2 is MIDDLE button, bit3 is button 4, bit5 is button 5. All others are zero.
5	delta x	Change in mouse movement on x-axis.
6	delta y	Change in mouse movement on y-axis.
7	delta wheel	Amount of wheel movement.

Per últim tenim un ordinador o PDA que fa ús d'un dispositiu perifèric senyalador per moure el punter. La principal característica necessària de l'ordinador és que disposi de tecnologia Bluetooth amb perfil HID ja sigui integrada o mitjançant un *dongle* o clau BT amb connexió USB. Els sistemes operatius actuals en part faciliten la connexió del dispositiu per a fer-lo servir com un dispositiu senyalador a aquest ordinador.

Seguint aquest diagrama es va treballar sobre els blocs per separat per finalment ajuntar-los tots per tal d'aconseguir el correcte funcionament del ratolí. Tot seguit es fa una descripció del prototip del ratolí amb el que va treballar l'Olalla.

1.3. Prototip i els seus problemes

S'ha de recordar que la finalitat del primer prototip, amb el qual l'Olalla va finalitzar el seu projecte, era verificar que era possible fer un ratolí amb un acceleròmetre per captar el moviment i arribar a obtenir un funcionament bàsic i correcte del sistema.

Els components bàsics del prototip eren un acceleròmetre d'Analog Devices [5] ADXL311, el microcontrolador 16F73 de Microchip [6] amb rellotge extern a 20MHz i un mòdul Bluetooth WML-C20 de Mitsumi [7].

En els seus inicis aquest prototip tenia els components electrònics repartits entre una *protoboard* amb el condicionament del senyal del sensor, una placa de circuit imprès on tenia el mòdul BT i el μ C, per facilitar les proves, i la placa on s'ubicava el sensor d'inclinació era d'unes mides grans (**Fig. 1.6**).

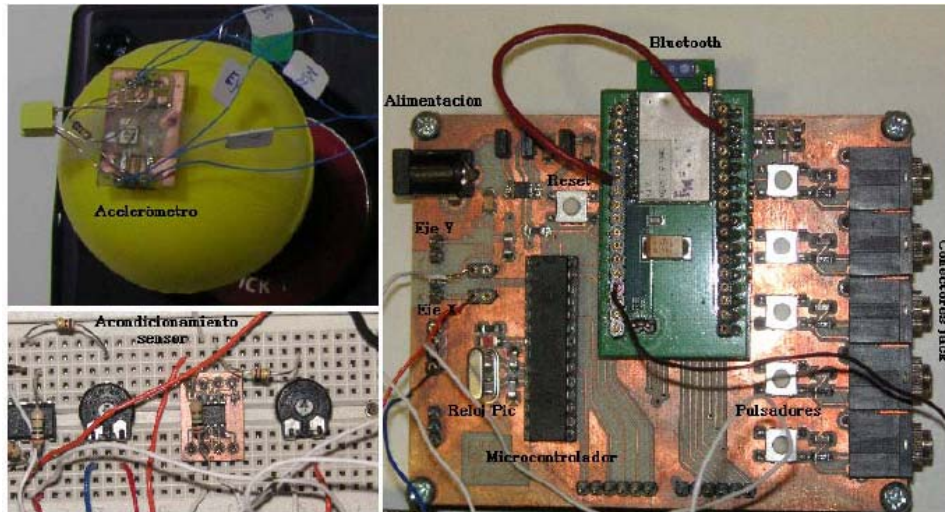


Fig. 1.6 Detall de les diferents parts que formaven el prototip

A la entrega de la primera part del projecte aquest ratolí tenia problemes en relació al moviment *joystick*-punter. Un d'ells eren els rebots: al soltar el *joystick* de cop, en ves de parar-se s'apreciava un moviment del punter movent-se bruscament al voltant del lloc on s'hauria d'haver parat. Això ho va solucionar l'Olalla amb un filtrat per mediana.

Aquest tipus de filtrat consisteix en agafar n mostres i ordenar-les de menor a major en un vector, llavors la mostra de la posició central d'aquest vector és la que tenim a la sortida del filtre. Aquest procés es fa contínuament substituint la nova mostra que afegim al vector per la mostra més antiga. Amb aquest filtrat el problema dels rebots va quedar bastant pal·liat ja que els canvis bruscos provocats pels rebots, que no són més que pics del senyal, són descartats al no ocupar la posició central del vector.

En contrapartida va aparèixer un retard considerable en el temps de resposta entre fer el moviment amb el ratolí i el posterior desplaçament del cursor. Això era degut a que els càlculs per fer aquest filtrat d'un vector de 20 mostres com el que s'utilitzava per la mediana i el fet de que han de passar certes mostres per tenir el valor equivalent al repòs a la sortida del filtre provoca un retard entre el valor real i el de la sortida del filtre. Aquest retard sempre el tindrem ja

que es necessita un temps per fer els càlculs, però en el prototip era molt gran i apreciable per l'usuari.

Llavors per exemple quan soltàvem el *joystick* i aquest tornava a la seva posició de repòs, el punter continuava movent-se seguint el moviment en el mateix sentit durant un instant. El mateix passava quan passàvem del repòs al moviment, tardava uns mil·lisegons en moure's el punter. Per a fer-nos una idea era com si el punter intentés seguir el nostre moviment però no fos prou ràpid per a respondre als canvis de direcció.

Un altra situació que no resolía l'anterior model de l'Olalla era que un usuari de *joystick* de mentó observaria un comportament diferent del dispositiu. Això era degut a que aquest tipus d'usuaris fa servir el comandament amb una inclinació en repòs de fins a 45° i tal com s'havia dissenyat el sistema s'observava un comportament diferent que si es fes servir pla respecte a terra.

A part d'aquests problemes de moviment, el prototip no tenia cap control per a la gestió energètica, quan es connectava l'alimentació s'encenia i no s'apagava fins a que el tornaves a desconnectar de l'alimentació ni tenia un mode de baix consum. Aquesta part de la feina es va reservar per al següent prototip.

El segon prototip (**Fig. 1.7**) és sobre el qual es va començar a treballar en aquesta segona part. Basant-se en l'experiència del primer i en posteriors decisions es van realitzar canvis bastant rellevants respecte al primer, tant a nivell de hardware com de firmware.

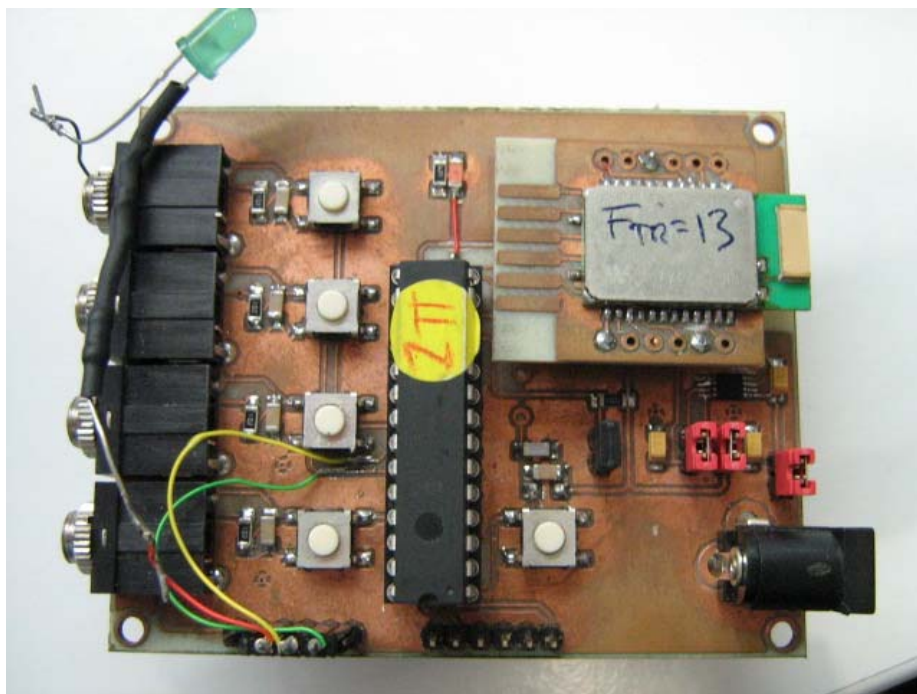


Fig. 1.7 Segon prototip del ratolí

Aquests canvis s'explicaran al llarg de la resta de memòria, el que sí que és important ressaltar a continuació són els objectius que es van marcar per aquesta segona part del projecte.

1.4. Objectius de la segona part del projecte

Un primer pas a l'hora de tirar endavant va ser deixar ben definits el que s'esperava aconseguir al final del projecte així que ja des d'un principi és van fixar diversos punts, ja sigui per guiar el treball o per a deixar ben clar el que s'havia d'intentar assolir. Aquests van ser:

- Ha de poder treballar correctament amb diferents *joysticks* indiferentment del fabricant de la cadira de rodes, model i tipus.
- S'ha d'aconseguir que el treballar amb diferents inclinacions en repòs del sensor, no sigui un problema pel funcionament del sistema.
- S'ha de buscar una solució per al disseny mecànic de l'acceleròmetre. Tant a nivell de com subjectar-lo com de la seva forma física.
- Fer el disseny mecànic de la caixa o l'element que allotjaria l'electrònica del dispositiu.
- Treballar l'aspecte de la gestió energètica i el consum.
- Fer que l'ús sigui senzill i que el funcionament del dispositiu sigui fiable i estable.
- Cercar les possibles proves d'homologació que hauria de passar per poder comercialitzar-lo.
- Realitzar proves amb usuaris.

CAPÍTOL 2. ELECCIÓ DE COMPONENTS PRINCIPALS

Amb els coneixements de la primera part del projecte és va fer un altre prototip per fer proves i millorar les prestacions. Entre tots els components que s'havien de seleccionar en primera instància cal destacar-ne tres degut a que són la base del sistema: el mòdul Bluetooth, el microcontrolador i l'acceleròmetre. Sabem que aquests tres han d'estar inclosos obligatòriament al disseny final i que a pesar dels canvis que fem durant les diferents parts de millora, aquests continuaran sent els mateixos. Als següents apartats anem a justificar el perquè escollir els que hem utilitzat:

2.1. Elecció del mòdul Bluetooth

El mòdul BT Mitsumi WML-C20 ja té les bones prestacions per a incorporar-lo al que seria el prototip final. El microcontrolador li envia els bytes del paquet BT que s'ha d'enviar i aquest s'encarrega de tot el referent a la comunicació amb el PC. Com que és un dispositiu BT de classe 1 té una potència de transmissió màxima de 20 dBm.

Es podria escollir un model amb menys potència de transmissió, però penalitzaria la distància màxima que pot haver entre emissor i receptor, que podria ser molt crític si tenim en compte que l'entorn on funcionarà el ratolí inclou estructures metàl·liques de cadira, torre, taula i d'altres que atenuen el senyal.

Així que continuem amb el mateix amb la possibilitat d'escollir un model nou de similars característiques, prestacions i preu en cas de que sortís al mercat.

2.2. Elecció del microcontrolador

El microcontrolador és el cor del nostre sistema, en ell està inclòs el conversor A/D amb el qual mostregem el senyal proporcional a la força de la gravetat en l'eix X i el Y provinent de l'acceleròmetre. Ja es va decidir que amb 8 bits de resolució era suficient per a la precisió del ratolí que volíem obtenir. La sensació de moure'l amb un *joystick* és molt diferent de fer-ho amb un ratolí normal i mostrejant amb més bits no millora de cara a l'usuari ja que no s'apreciaria gairebé diferència. Entre els perifèrics que ens són necessaris trobem el AUSART [*Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*] que és amb el que ens comunicarem amb el mòdul Bluetooth via protocol RS-232, l'A/D que ja hem dit abans amb dos entrades analògiques al μ C i també hi ha característiques de la CPU que hauríem d'aprofitar com ara certes interrupcions.

El model que es feia servir fins ara és el PIC16F73 de Microchip però després de cercar les opcions que teníem a l'abast s'ha decidit fer servir el PIC16F767. Les principals diferències respecte l'anterior són:

- Aquest disposa de rellotge intern de fins a 8 Mhz, fins ara el rellotge era extern i de 20 MHz. El principal avantatge és l'estalvi en el preu ja que un oscil·lador de cristall com el que fèiem servir costa uns dos euros.
- Té 14 kBytes de memòria que és el doble que el que tenia el 16F73 i gairebé el doble de RAM.
- El 16F767 [8] està dotat de tecnologia Nanowatt de Microchip amb la qual segons el fabricant, tindrem uns consums molt baixos. Així per exemple tenim un consum en funcionament al voltant dels 30 μ A mentre que amb el 16F73 podria ser d'uns 2 ò 3 mA. Dintre del model escollim la versió LF (16LF767) ja que té un consum en repòs de 0,5 μ A.

O sigui, amb l'elecció d'aquest microcontrolador d'entrada aconseguim millorar dos dels punts dels objectius del projecte, reduïm el consum i reduïm el cost dels materials, ja que encara que és uns 50 cèntims més car que l'altre al disposar d'oscil·lador intern estalviem per aquest costat quasi el triple.

També hi ha característiques gairebé idèntiques als dos, que abans no es feien servir i que ara s'intentarà aprofitar-les. Aquestes serien les següents:

- *Timers*. Són comptadors que s'incrementen cada cert nombre de cops de rellotge que podem configurar. N'hi ha de 8 i de 16 bits, els quals poden dependre de diferents rellotges com un extern, un intern o del seu propi rellotge. Serveixen per temporitzar esdeveniments.
- Interrupcions. Són salts a certa part del codi produïts per esdeveniments externs al programa i que serveixen per comunicar-nos amb el μ C. Farem servir els següents:
 - Port B: detecta els canvis o flancs de tensió als pins B4 a B7, indiferentment si són de pujada o de baixada.
 - Interrupció externa: detecta canvis al pin B0, a diferència de l'anterior s'ha de dir si són flancs de pujada o de baixada.
 - *Timer overflow*. Quan un *timer* o comptador arriba al final del seu compte, per exemple si és de 8bits seria 255 increments, salta una interrupció de sobreiximent o *overflow* amb anglès. Això ens permet temporitzar accions que es facin cada cop que té lloc aquest esdeveniment.
- Farem servir 2 entrades analògiques per al conversor AD per mostrejar el senyal del sensor amb 8 bits.

- El mòdul AUSART de l'anglès *Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* és una interfície de comunicacions sèrie. El programarem de manera que permeti una comunicació sèrie entre el μ C i el mòdul BT. S'envien paraules de 8 bits a 9600 bits per segon sense bit de paritat i amb un bit de parada, 8N1. Després s'intentarà forçar a més velocitat aquest protocol.

- Disposa de ICD (*In Circuit Debugging*) i ICSP (*In Circuit Serial Programming*, el 16F73 també) [9] [10]. El ICSP ens permet programar el μ C a través de 4 pins directament a la placa sense haver de treure'l cada cop que volem fer una actualització de firmware. Com el dispositiu va a una cadira de rodes, cal soldar el PIC a la placa ja que si no les vibracions de la cadira podrien fer que sortís del seu sòcol, llavors amb l'ICSP no cal dessoldar-lo cada cop. El ICD ens permet comprovar el correcte funcionament del programa directament al circuit fent una depuració pas a pas.

2.3. Elecció de l'acceleròmetre

Un altre element clau per al nostre ratolí en aquest punt de partida de les proves és l'acceleròmetre. Aquest és el que ens indica quant volem moure el nostre punter i cap a on. Un acceleròmetre no és més que un sensor amb unes sortides proporcionals a l'acceleració de la gravetat respecte als seus eixos de mesura. Entre les seves característiques principals podem trobar-ne de fins a tres eixos, amb diferències respecte en quins eixos es fa la mesura, la seva sensibilitat i el seu rang de mesura. Així nosaltres necessitem un de dos eixos (els de 3 tripliquen el preu), amb un rang de mesura baix ja que el nostre màxim serà 1g que és l'acceleració de la gravetat i la sensibilitat tampoc representa un greu problema degut a que igualment s'ha de fer un circuit de condicionament de senyal per certes limitacions que s'expliquen en el punt 2.2.1. Un punt que si que ens limita és on situar aquest circuit, ja que de cara al soroll del senyal és millor ubicar-lo amb l'acceleròmetre, però de cara a les mides del que s'ha de ficar al *joystick* interessa que estigui a la placa amb l'electrònica. A la primera part del projecte es va ficar aquest circuit a la placa amb l'electrònica i així ho farem nosaltres.

En la primera part es va fer servir el model ADXL311 d'Analog Devices un acceleròmetre de dos eixos XY. Per a aquesta segona part es va pensar en un acceleròmetre de Freescale MMA620Q [11] que era el primer acceleròmetre de dos eixos XZ del mercat, això podia facilitar les coses per a la seva subjecció al *joystick*, ja que el podríem ficar pla a la superfície lateral del mateix no com fins ara que ha d'estar perpendicular, amb les dificultats de subjecció que això comporta (**Fig. 2.1**).

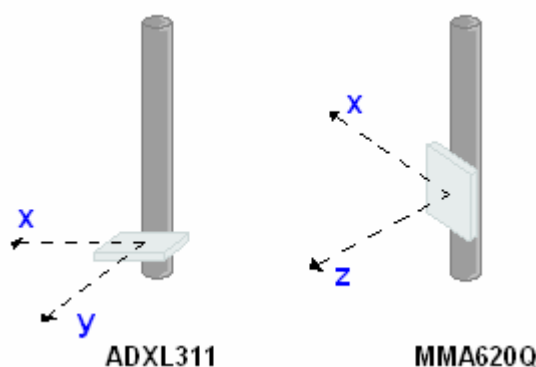


Fig. 2.1 Diferència entre la subjectió de l'ADXL311 i el MMA620Q

Els problemes d'aquest model són les seves mides ja que 6 x 6 x 1,45 mm el converteixen en un candidat més gran en comparació amb el ADXL311, 5mm de costat, i aquest mil·límetre si que importa en relació al diàmetre mig dels *joysticks* que seria d'uns 20 mm, té un consum lleugerament més elevat 450 μ A i el seu preu és uns 3 euros més elevat que un acceleròmetre XZ com l'escollit.

Analog Devices ofereix un altre model l'ADXL322 [12] de similars característiques i que ens anirà millor per a la nostra aplicació en concret a la **taula 2.1** en fem una comparativa dels dos models:

Taula 2.1 Comparativa entre ADXL311 i ADXL322

	ADXL 311	ADXL322
Canals / tipus	2 / XY	2 / XY
Sensibilitat (mV/g)	174	420
Precisió	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$
Rang	$\pm 2 g$	$\pm 2 g$
BW (kHz)	6	2,5
Vsupply (V)	2,4 a 6	2,4 a 6
Consum (μ A)	~ 400	~ 340
Mides (mm)	5 x 6 x 2	4 x 4 x 1,4
Preu (+1000 u)	4,25 \$	3,5 \$

Com podem observar a la taula l'ADXL322 és més sensible i precís fet que farà que la senyal "útil" o amb informació tingui valors més grans que amb l'altre model, això implica que la relació senyal soroll serà major i que possiblement puguem ficar el circuit de condicionament a la placa i poder fer servir un cable més llarg entre l'acceleròmetre i la caixa on s'ubicarà l'electrònica. Que tingui un menor ample de banda no ens afecta per a res perquè en el nostre cas la senyal té un ample de banda de pocs Hertz. L'elecció d'aquest model ens millorarà en costos, consum i com podem observar al ser més petit podrem fer una PCB més petita.

Si féssim servir directament la sortida de l'acceleròmetre a l'entrada del conversor AD del microcontrolador, només podríem mostrejar un senyal d'un marge dinàmic d'uns 840 mV en el cas que el *joystick* anés de -90° a $+90^\circ$. Per tant ens interessa poder aprofitar més el marge dinàmic d'entrada de l'AD que són com a màxim 3,3 V degut a l'alimentació. En el següent apartat tractem més a fons el tema.

2.1.1. Condicionament del senyal

Hi ha 4 factors que s'han de tindre en compte del senyal de sortida: la seva amplada de banda, el seu *offset*, l'amplificació necessària per adaptar-lo a el conversor AD i els valors màxims que ens interessa que prengui per poder aprofitar al màxim aquest senyal.

El mateix acceleròmetre permet ajustar l'amplada de banda de la sortida amb un filtre pas baix del qual podem determinar-ne la freqüència de tall amb el valor d'un condensador extern. Ja es va escollir un de 47 μF el qual ens proporciona una amplada de banda de 10 Hz. Com el nostre senyal no variarà molt ràpidament aquest valor és suficient per a filtrar gran part de rebots i soroll del *joystick*, els quals provoquen oscil·lacions ràpides.

Com el sensor va alimentat de 0 V a 3,3 V (alimentació del nostre circuit) i és capaç de detectar acceleracions de -2 g a $+2\text{ g}$ això vol dir que en repòs estarà al mig del marge dinàmic, o sigui que si el tenim completament pla respecte al pla de terra, orientació on la gravetat són 0g en els dos eixos, a la sortida tindrem 1,6 V i no 0 V com es podria pensar. Aquest *offset* no ens aporta cap informació i per tant a l'hora de condicionar el senyal no s'ha d'amplificar, si no saturaríem enseguida el senyal d'entrada del conversor AD, si per exemple amplifiquéssim per dos directament saturaríem el senyal. Tampoc l'hem de tindre en compte per a determinar el valor de la inclinació del *joystick* i aquesta segona consideració la solucionem per software. Al valor del senyal sense l'*offset* l'anomenem senyal útil.

2.1.1.1. Solució del problema d'inclinació

Fins ara hem parlat de tindre el sensor pla respecte a terra, però ens podem trobar amb usuaris, els quals tenen situat el *joystick* amb una inclinació en repòs fins 30° i 40° cap a ells per comoditat a l'hora d'accionament. En aquest cas el valor de l'*offset* serà més gran que abans. Per exemple si en repòs estigués inclinat 30° hauríem de sumar 200 mV (0,5 g) als 1,6 V d'*offset*, per tant tenim 1,8 V. Si amplifiquéssim per quan l'*offset* és de 1,6 V el marge dinàmic s'ajusti de 0 V a 3,3 V al canviar la posició de repòs i que aquesta fos de 30° enseguida saturaríem la sortida de l'amplificador degut a un major *offset* i per tant els usuaris de barbeta no podrien fer servir el ratolí. Això era un problema a resoldre respecte al primer prototip ja que a partir d'uns 20° d'inclinació en repòs saturàvem la sortida.

Primer de tot recordar el circuit de condicionament que s'ha de fer per a cadascun dels dos canals. L'Olalla ja va escollir el circuit integrat OPA2335 de Texas Instruments [13] que conté dos amplificadors operacionals per muntar el circuit. Aquest (**Fig. 2.2**) i la seva resposta considerant que R_1 és molt més gran que R_a i R_b (2.1), són els següents:

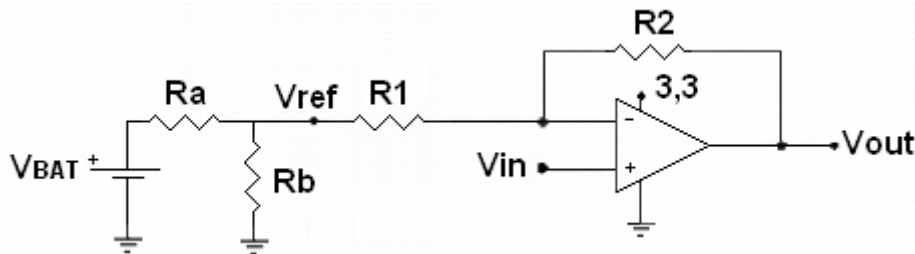


Fig. 2.2 Esquema del circuit de condicionament

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} V_{ref} \quad (2.1)$$

Aquest circuit ens permet fixar una tensió de referència i llavors només s'amplifica el valor del senyal en relació a aquesta. Així no amplificaríem l'*offset* i només amplificaríem la diferència respecte aquesta. A l'Annex 1 podem veure els gràfics de la relació acceleració de la gravetat i voltatge així corroborarem que tal com es deia al *datasheet* del sensor, tenim una sensibilitat de 420 mV/g i un *offset* d'uns 1,6 V quan estem en repòs plans respecte terra.

Encara que els dos canals no són iguals hem de pensar que cada acceleròmetre es pot comportar d'una manera una mica diferent, llavors fixem V_{ref} a 1,65 V amb un divisor de tensió amb $R_a = R_b = 1\text{k}\Omega$. Tot i que sabem que en la majoria de casos no serà aquest el valor idoni, és el que està més a prop i el corregirem per software en la fase de calibratge que explicarem més endavant. El fet de fer servir resistències SMD del mateix valor també ajuda a abaratir els costos i a fer més senzill el posterior muntatge de la placa ja que no cal estar tan pendent de buscar diferents valors.

El pitjor cas en el que ens podem trobar en quan a la inclinació del *joystick*, tenint en compte que aquest només es decanta 30° com a màxim, seria si la seva posició de repòs fos amb pendent de 60° i l'inclinéssim cap avall de manera que l'eix Y estigues perpendicular a terra, 90° d'inclinació. En aquesta situació l'acceleració de la gravetat en aquest eix seria d'1g, per tant tindríem uns 2 V a l'entrada de l'AD, llavors hem d'assegurar que no estigui saturada la sortida de l'amplificador. Llavors hem de treure la relació entre R_1 i R_2 a partir de la fórmula (2.2) i sabent que a la sortida no podem tenir més de 3,3 V:

$$3,3V = 1,95V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} 1,65V \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 4,5 \quad (2.2)$$

Segons els càlculs hauríem d'escollir els següents valors per $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ i $R_2 = 450 \text{ k}\Omega$. Ens permeten poder treballar amb una posició de repòs del *joystick* de fins a 60° .

Com que el *joystick* en repòs no té per que estar perpendicular al terra, degut per exemple a que el fa servir un usuari de mentó o per desnivells de la superfície on està la cadira, quan encenem el dispositiu es pren una mesura del valor en repòs del acceleròmetre, llavors tots els càlculs posteriors de moviment és fan respecte a aquesta posició de repòs. Aquesta acció és a la que ens referim quan parlem del calibratge del dispositiu. Per això es important que la posició de repòs de l'acceleròmetre no variï des de que s'encén fins que s'apaga, en cas de que això passés es perdria el calibratge i ocasionaria que en repòs tindríem moviment del punter. Per solucionar-ho s'hauria d'apagar i encendre el dispositiu per a tornar a fer el calibratge.

Per tant podem donar per resolt el problema de la inclinació en repòs i per tant ara és accessible a usuaris que abans, degut a aquest problema, observaven un comportament diferent del ratolí.

En el següent capítol es veurà el treball realitzat sobre la gestió de l'energia, el consum i l'alimentació del ratolí.

CAPÍTOL 3. GESTIÓ ENERGÈTICA I CONSUM

Un dels elements clau en un sistema autònom com és el nostre és la seva autonomia de bateries, en aquest capítol s'intentarà buscar els medis necessaris per a que aquesta sigui la més llarga possible. S'ha de tenir en compte que això no afecti a les prestacions cap a l'usuari que el faria servir, per exemple no seria una bona forma d'estalvi energètic el fet d'emetre amb menys potència ja que potser es perdrien els paquets enviats via BT i observariem un moviment estrany del punter.

S'ha de dir que el que ens limita en el nostre dispositiu és que el mòdul BT ha de tenir una tensió molt estable de 3,3 V, si tinguéssim tensions per baix aquest no funcionaria correctament i si estiguéssim per sobre podríem danyar-lo. La resta de components els podem alimentar de 2,5 V a 4 V, per tant no ens suposen cap barrera. També és l'element que té un consum més elevat i això limita algunes solucions a l'hora d'alimentar-lo, com veurem a continuació.

Aquí intentarem minimitzar el consum, però fins que no tinguem el prototip final acabat no sabrem estimar-ne els valors entre els que es mourà el seu consum.

3.1. Alimentació

Al llarg de tot el projecte una de les principals preocupacions ha estat el com alimentar el sistema. En un principi es feia servir un convertor DC-DC de Texas Instruments LP2966. Aquest tenia una tensió d'entrada sempre major que la de sortida i a la sortida ens dóna 3,3 V. L'avantatge del LP2966 era que tenia dos sortides de 3,3 V independents les quals podíem habilitar i controlar des de dos sortides digitals del μ C. Així podíem alimentar per una part el circuit i per separat el BT comandant una sortida des del μ C com veiem a la **Fig. 3.1**.

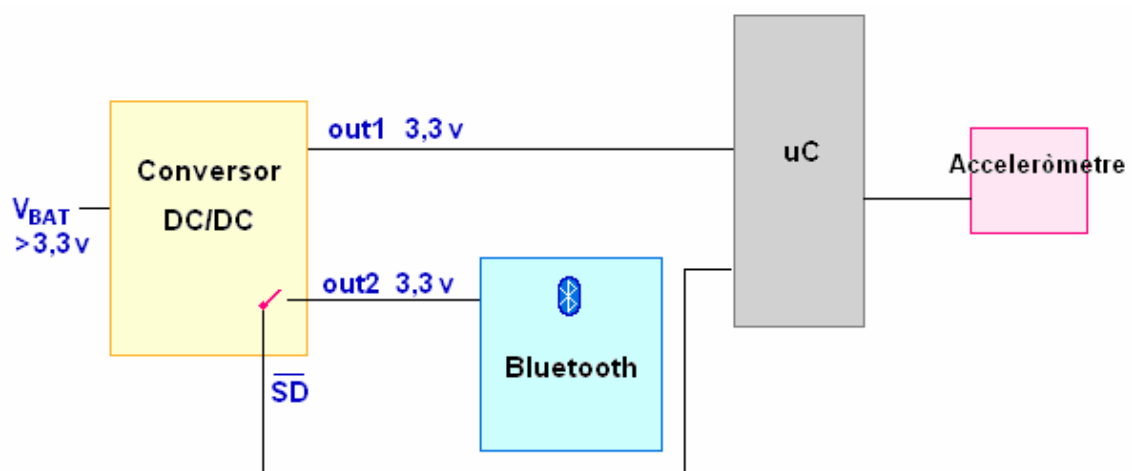


Fig. 3.1 Esquema de l'alimentació del circuit amb l'LP2966

Per poder fer servir aquest tipus de conversió fa falta que la tensió a l'entrada estigui per sobre de la de sortida. L'opció de fer servir algun tipus de bateria especial que directament ens doni uns 3,3 V queda descartada pel seu preu, llavors ens movem amb l'opció de fer servir bateries o piles del tipus AA o AAA. Aquestes tenen un valor de tensió de 1,2 V les bateries i de 1,5 V les piles, com els usuaris poden fer servir els dos tipus, nosaltres ho farem amb bateries recarregables ja que és poden fer servir més cops i també ens situen en el pitjor cas d'alimentació ja que una bateria gairebé descarregada pot donar-nos un voltatge de fins a 0,9 V abans de caure dràsticament la seva corba de tensió. Podem veure exemples d'aquestes corbes de tensió dos tipus de bateries a l'Annex 2 [14]. Per mida potser ens interessava més les de tipus AAA, però el fet que les AA tinguin el doble de capacitat que implica més autonomia, fa que tindre una caixa una mica més gran valgui la pena. Així escollim les AA recarregables de 1,2 V les quals tenen capacitat de més de 2500 mAh [15].

El cas és que fent servir aquest tipus de conversió serien necessàries 3 ò 4 bateries, depenent del seu estat de càrrega, per a que en el pitjor dels casos poguéssim assegurar el bon funcionament del sistema. De fet les proves es van fer amb 3 bateries i no va haver cap problema, però el que si que va ser una barrera és que no hi ha caixes amb compartiment de 3 piles, les de 4 són massa grans per al que nosaltres necessitem i que els carregadors de bateries són de 2 ò 4 i això pot ser un inconvenient a l'hora de tindre un joc de bateries carregat per quan s'acabin les que estem fent servir.

Per tant havent vist l'anterior és va demanar que era indispensable que s'alimentés amb dos piles AA recarregables de 1,2 V ja que aporta certs avantatges respecte a les altres opcions.

3.1.1. Alimentació del Circuit

Alimentar el circuit amb dos bateries de 1,2 V implica que com a molt d'elles podem obtenir directament 2,4 V degut a això no podem fer servir un simple regulador de tensió, per aconseguir els 3,3 V ho podem fer amb un dispositiu anomenat *STEP UP* o pujador de tensió. Aquest el que fa es donar-nos a la sortida una tensió més alta que a l'entrada amb una limitació de intensitat i unes pèrdues que depenent del model poden ser molt petites.

Al la **Taula 3.1** podem veure la comparació entre els models escollits finalment per a fer-ne una tria amb més detall, després de descartar-ne molts que no tenien la tensió de sortida desitjada, eren massa cars o la seva eficiència era molt baixa com a criteris principals.

Taula 3.1 Comparativa entre models de pujadors de tensió

Dispositiu	AS1320	MAX1724	MAX1833	MAX858	MAX1674	MCP1256
Preu	2,28 €	1,50 €	1,52 €	1,60 €	1,85€	1,34€

Vout	3.3V	3,3	3,3	3,3	3,3 ò 5,5	3,3
Vin (V)	1,5 - 3,5	0,8 - 5,5	1,2 - 5,5	0,8 - 6,0	0,7 - 5,5	1,8 - 3,6
Iout	<200mA	<150mA	<150mA	<125mA	<150mA	<100mA
Isupply	55 μ A	1,5 μ A	4,4 μ A	25-60 μ A	16-40 μ A	1-1,4mA
I _{sd}	1 μ A	0,5 μ A	1 μ A	1 μ A	1 μ A	0,25 μ A
Eficiència	77%	75-82%	77-88%	75-85%	88-90%	60-80%
Extres	SD (BTO), LBD	SD(BTO), EMI	SD(BTO)	LBD	SD(BTO), LBD	SD, SoftStart

On SD és *Shutdown* o que tenen mode de baix consum, SD (BTO) *Shutdown battery to output* que indica que el mode de baix consum curtcircuita la sortida amb l'entrada per reduir al màxim les pèrdues, LBD Detector de bateria baixa i EMI que té mecanismes per combatre les interferències electromagnètiques que pot provocar.

El següent problema que es va trobar va ser que alguns *STEP-UP* com el MAX1724 no ens era possible adquirir-los ni via mostres de fabricant ni per cap distribuïdor al detall, l'única opció era comprant mil unitats al fabricant cosa que per fer un prototip inicial no és viable.

Després de fer aquesta comparativa dels models que podem trobar actualment al mercat, ens decantem pel MAX1674 de MAXIM [16]. Té una sortida de 3,3 V amb una intensitat màxima de 150 mA encara que el nostre circuit no arribarà a tant, una eficiència (**Fig. 3.2**) al gairebé del 90% per a la intensitat de sortida que tindrem nosaltres que serà d' 1 mA a 100 mA i segons el *datasheet* les pèrdues sense càrrega serien d'uns 16 μ A.

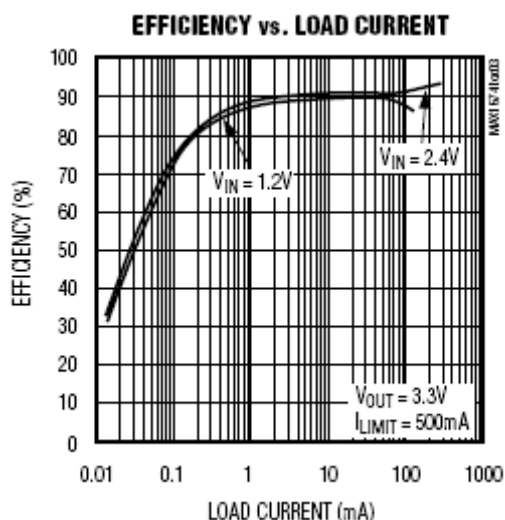


Fig. 3.2 Eficiència en relació a la corrent de la càrrega MAX1674

Aquest tipus de conversors DC-DC alguns cops presenten un problema de generació d'interferències electromagnètiques degut a que el que fan es carregar i descarregar una bobina externa per aconseguir que pugui la tensió. En el nostre cas en un principi es volia fer servir l'opció de *shutdown* o baix

consum del dispositiu, al visualitzar la sortida quan ho fèiem servir s'observaven pics de tensió a una freqüència inversament proporcional al nivell de tensió a l'entrada, menys tensió implicava freqüència més alta. Aquests pics feien que el mòdul BT no funcionés correctament. Després de fer modificacions al disseny del circuit on estava l'integrat i prescindir de l'opció de shutdown aquests pics van desaparèixer.

Disposarem d'un interruptor mitjançant el qual encendrem i apagarem el sistema sencer obrint el circuit de les bateries. Per als perifèrics ho farem com diem a continuació.

3.1.2. Alimentació dels perifèrics

Els perifèrics que s'han d'alimentar juntament amb el microcontrolador són l'acceleròmetre i el mòdul BT. Mitjançant el control de l'alimentació dels perifèrics podem fer que l'estalvi energètic sigui elevat ja que si que s'intenta poder tallar l'alimentació dels mateixos quan no és necessari el seu funcionament. El microcontrolador permet alimentar perifèrics mitjançant qualsevol sortida digital, però tenim una limitació de 200 mA de corrent màxima total entre tots els pins d'un port i que el mòdul BT com hem dit abans precisa d'una tensió molt estable.

3.1.2.1. Acceleròmetre

L'acceleròmetre com a molt ens consumeix uns 350 μ A els quals els podem aconseguir a partir del senyal en nivell alt d'una de les potes del PIC, en total podem donar 200 mA per port. Així l'encendrem i l'apagarem mitjançant una sortida digital del microcontrolador.

3.1.2.2. Mòdul Bluetooth

En canvi el mòdul BT quan s'encén requereix de més potència amb uns pics de demanda de fins a 100 mA. Això no és possible aconseguir-ho amb una pota del microcontrolador degut a la limitació de corrent màxim abans comentat i que el mòdul BT requereix d'una tensió molt estable. Anteriorment, quan fèiem servir 3 piles i el LP2966 per alimentar-lo, dedicàvem una de les sortides del convertidor DC-DC, la qual habilitàvem des del PIC i ens podia entregar la potència necessària.

El problema que hi ha amb la solució per alimentar el circuit proposada és que el MAX1674 no disposa de dos sortides i si fem servir dos pujadors de tensió podem tindre el problema de que les alimentacions del microcontrolador i del mòdul BT siguin diferents. Si tinguéssim una diferència de 0,3 V entre alimentació i els nivells digitals de les entrades i sortides de cadascun podria succeir que no reconguin bé els nivells digitals entre ells.

La solució que es decideix és fer servir un transistor P-MOS a mode d'interruptor. Connectant el transistor com veiem a l'esquema de la **Fig. 3.3** i mitjançant la seva porta *Gate* que està connectada a una sortida digital del PIC

podem controlar l'alimentació del BT. Llavors quan tinguem un nivell alt a la porta es forma canal entre drenatge i font tot tancant el circuit i alimentarem el BT i quan estigui en nivell baix no passarà tensió entre les dos altres potes del transistor ja que no hi ha canal.

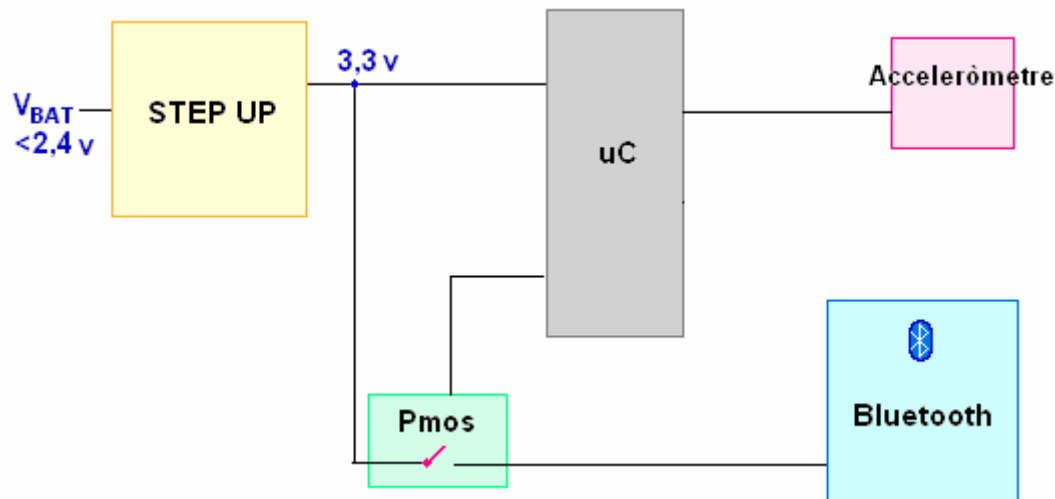


Fig. 3.3 Esquema del control de l'alimentació

Després de fer una comparativa escollim el model FDN304P de Fairchild Semiconductors [17], que és un transistor P-MOS especialment dissenyat per fer la funció d'interruptor per aquests casos. n'hi ha amb millors característiques però el preu és molt més elevat i no hi ha opció d'aconseguir-los als distribuïdors minoristes espanyols. Aquest quan està conduint té una resistència sèrie de 40 mΩ, quan no ho està tenim unes pèrdues de només 1 μA.

3.2. Mesures per a l'optimització de l'energia

Com hem comentat varies vegades al llarg del projecte un dels pilars més importants d'aquest és l'estalvi energètic. Per aquest motiu es prendran les següents mesures:

- Hi haurà un interruptor general per obrir el circuit de les bateries i per tant amb aquest apagat no consumirà res el sistema, només perdrem càrrega per les pèrdues intrínseques de les bateries les quals es descarreguen amb el temps.
- L'acceleròmetre només s'alimenta quan estem connectats amb l'ordinador.
- El mòdul Bluetooth com és el dispositiu que més consumeix del sistema amb diferència, només l'alimentarem quan sigui necessari per estar connectats amb l'ordinador.

- El BT ajusta la potència amb la que emet automàticament intentant emetre amb la mínima potència necessària.
- Es tindrà un mode de baix consum en el qual no alimentarem ni acceleròmetre ni BT i tindrem el microcontrolador en mode DORMIR per tal de que el consum sigui mínim.
- Es faran comprovacions de la connexió mitjançant un senyal provinent del mòdul BT que ens indica que li podem enviar, si es perd la connexió enviem el sistema al mode de baix consum.
- També podem enviar el mòdul a aquest mode amb una pulsació llarga del botó dret o el commutador equivalent.
- Mentre el moviment del *joystick* estigui dintre de la zona morta on considerem que no hi ha moviment del cursor i no hi hagi cap pulsació de botó, hi ha moments en els quals no es necessari enviar cap tipus de paquet HID al PC. Per tant en aquest cas no transmetrem, ja que la transmissió és el que representa més consum per al sistema.

3.3. Màquina d'estats

Seguint les mesures anteriors és dissenya la màquina d'estats representada a la **Fig. 3.4**. Després de la figura hi ha una explicació a nivell d'estats de com funciona el ratolí:

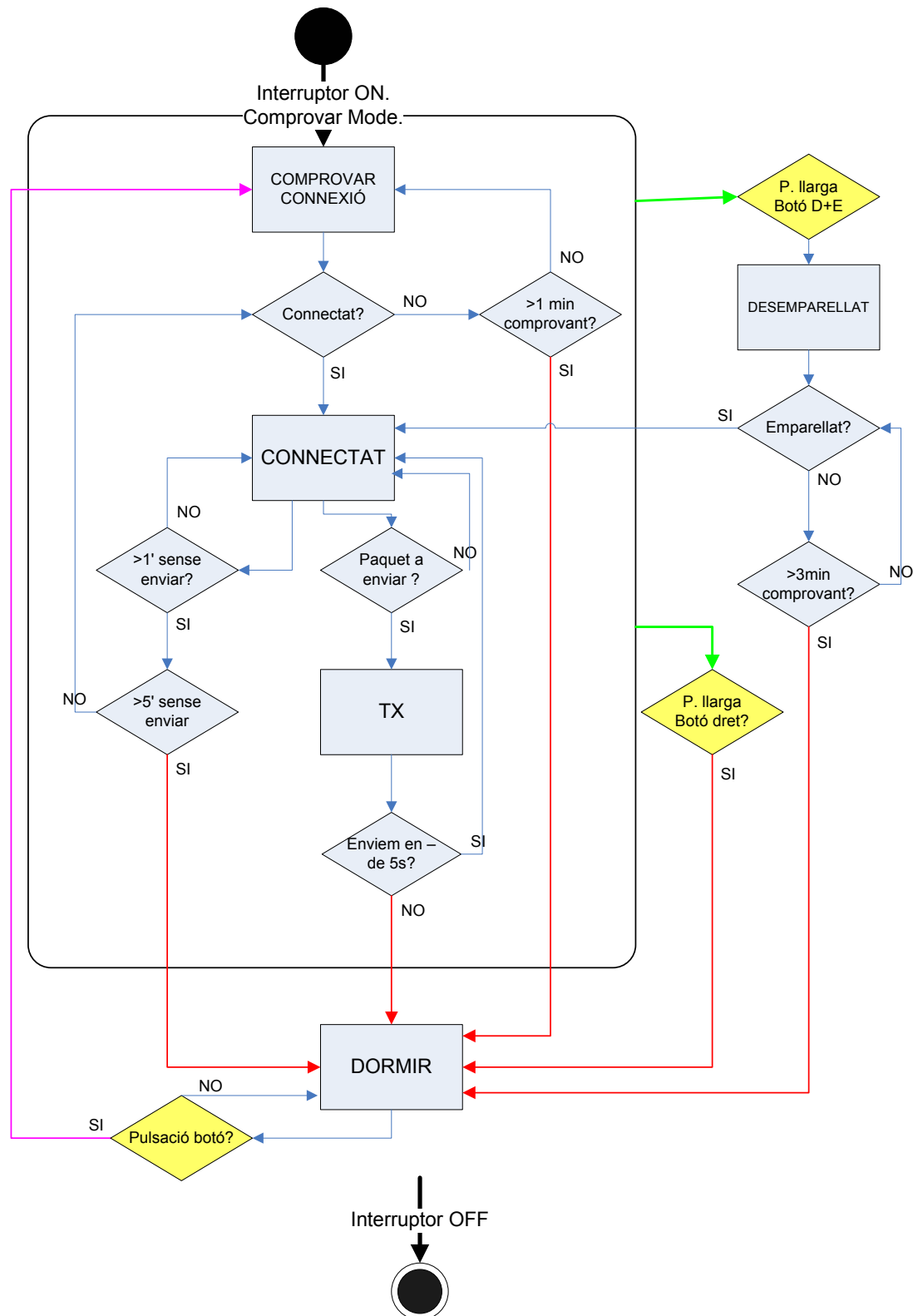


Fig. 3.4 Diagrama de la màquina d'estats del dispositiu

- Amb l'interruptor anem directament a *encès* o *apagat* en qualsevol moment independentment de l'estat en que ens trobem.

- Un cop encenem el ratolí alimentem el mòdul BT i intenta connectar amb el dispositiu que està emparellat. Aquest estat és anomenat *comprovar la connexió* durant el qual el que es fa és anar mirant el valor d'un pin del mòdul BT:

- Quan està en nivell alt ens indica que li podem enviar informació per ser transmesa a l'ordinador i que per tant estem connectats amb el PC.
- Si no està en nivell alt quan en prenem el valor, tornem a repetir el procés.
- Si passat un minut no estem connectats, enviem el dispositiu a dormir (mode de baix consum).
- Si el pin està en nivell alt, indica que estem connectats (també aparellats) i passem a l'estat *connectat*.

- En l'estat *connectat*, només enviem paquets al mòdul BT en cas d'haver informació.

- Hi ha un comptador que si estem durant un minut sense enviar incrementa una variable. Cada cop que això passa saltem a l'estat de *comprovar la connexió* per assegurar-nos que estem connectats.
- Si aquesta variable s'ha incrementat 5 cops implica que hem estat 5 minuts sense enviar res i estem connectats. Això s'interpreta com que ja no estem fent servir el ratolí (per exemple, per accident no hem apagat el dispositiu i estem prop de l'ordinador sense fer-lo servir) i com a mesura d'estalvi energètic enviem el ratolí a *dormir*.
- En cas de tenir informació per enviar passem a l'estat de *transmissió* (TX).

- A l'estat de transmissió el que fem és enviar al mòdul BT els bytes que formen el paquet de ratolí.

- Com en teoria estem connectats si tardem més de 5 segons en poder enviar implica que realment estem desconnectats i per tant enviem el ratolí a dormir.
- Si podem enviar tornem a l'estat de connectat a l'espera de tindre algun paquet per enviar.

- Arribem a l'estat *dormir* o de baix consum en qualsevol de les transicions abans anomenades. Igualment una pulsació llarga del botó dret fa que enviem el ratolí a *dormir* (si ho féssim amb l'esquerra ho podríem confondre amb l'acció d'arrossegar).

- Per sortir d'aquest estat només cal pulsar qualsevol dels botons i tot seguit el sistema intenta connectar-se al dispositiu emparellat.

- En qualsevol moment una pulsació llarga del botó esquerre juntament amb el dret fa que desemparellem el ratolí del dispositiu al que estava emparellat, passant a estar lliure per a poder emparellar-se. Si passats tres minuts després

de soltar els botons no estem emparellats enviem el dispositiu a dormir ja que durant l'emparellament el consum d'energia és més gran, degut a que s'emet amb màxima potència per descobrir dispositius dintre del seu rang màxim de cobertura.

3.4 Consum

El consum d'un dispositiu electrònic d'aquestes característiques és molt difícil d'estimar degut a que hi ha diferents modes i estats de funcionament, cadascun amb un consum diferent, amb temps de funcionament i transicions que decideix l'usuari tot depenent de l'ús que li doni cada cop que el faci servir. Factors com la distància entre el ratolí i l'ordinador que obliga a emetre amb més o menys potència, el que estem més estona movent el ratolí i per tant sempre enviant informació, que apaguem o no el ratolí,... són els que faran variar el consum del nostre dispositiu. En casos com aquests en que no es fàcil estimar un ús mig el que podem fer és parlar de temps en repòs.

En teoria quan el dispositiu estigui en mode de baix consum només estarà alimentat el microcontrolador que segons el fabricant en *sleep mode* requereix una potència de $0,5 \mu\text{A}$, si tenim en compte l'eficiència de l'*STEP UP* que és del 30% quan tenim aquesta tensió a la sortida i les pèrdues sense carrega que són de $16 \mu\text{A}$, en total tenim una demanda de potència a les bateries del voltant de $20 \mu\text{A}$. Si prenem com a referència una bateria de tipus AA Ni-MH recarregable amb una capacitat de 3000 mAh i tenint en compte aquests $20 \mu\text{A}$ de consum en repòs, tenim una duració de 150.000 hores. Per tant aquest mode es pot considerar equivalent a apagar el dispositiu amb l'interruptor, ja que el que més ens afectaria seria la descàrrega lenta de les bateries. Per exemple tal com podem observar al gràfic següent (**Fig. 3.5**) d'unes bateries AA Ni-MH de la marca GP [18] aquestes perden gairebé el 40% de la càrrega als 50 dies d'emmagatzematge.

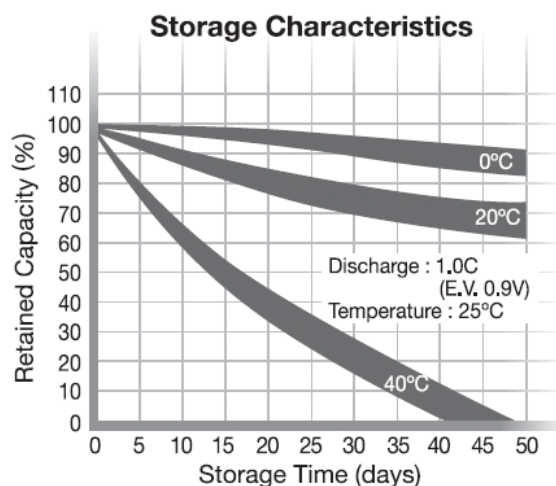


Fig. 3.5 Gràfic amb la relació descàrrega - temps d'emmagatzematge de les bateries GP2500AAH de NiMH

El consum es tornarà a mesurar amb el prototip final, ja que fins ara només podíem fer estimacions segons els valors teòrics donats pels fabricants dels components.

CAPÍTOL 4. ALGORISME DEL MICROCONTROLADOR

La part del projecte que ha requerit més dedicació és la que modifica l'algorisme del microcontrolador degut a que era crítica de cara al retard que s'observava al primer prototip. Per això, aprofitant una part del codi que hi havia creat, es va fer un nou programa per al microcontrolador.

Primer es va analitzar l'algorisme anterior. El seu diagrama de blocs el trobem a continuació (**Fig. 4.1**), després es comenta el que es fa a cada bloc i els canvis i modificacions que hem realitzat.

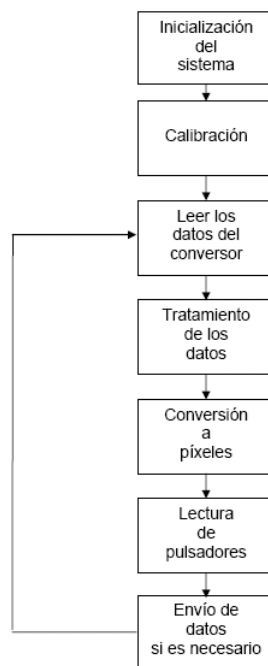


Fig. 4.1 Diagrama de blocs de l'algorisme anterior

Dintre del bloc d'inicialització del sistema es realitza el següent: configuració del microcontrolador (rellotge, *timers* i port sèrie), declaració de variables (llindars de moviment, velocitats de desplaçament de píxels, vectors per la mediana, mode de funcionament, ...), configuració del conversor A/D i per acabar inicialitzem les variables de la capçalera dels paquets BT que defineixen que el sistema és un ratolí.

Al bloc de calibratge s'agafa una mostra de cada eix la qual es pren com a valor de repòs a partir del qual es calculen tots els valors d'inclinació.

El tractament de les dades consisteix en llegir els valors del conversor A/D i fer el filtratge de la mediana per tal de descartar rebots i valors no desitjats.

A la conversió a píxels el que fem és mirar si el valor anterior està per sobre de la zona morta i depenent en quin mode estem carreguem, si és necessari, el paquet a enviar amb el valor de la velocitat de desplaçament.

A continuació es mostregen totes les entrades provinents dels polsadors (mètode d'enquesta) i mirem si hi ha algun canvi en el seu estat (polsat o no). Depenent de si ja havia estat polsat, si ara ho està, etc. es determina quina és l'acció que s'ha de fer per a cada botó i es carrega la part dels botons del paquet Bluetooth.

Per finalitzar només ens quedaria enviar el paquet BT per RS232 al mòdul de comunicacions, si aquest ens diu que podem i, com hem dit en el capítol anterior, només si hi ha informació per enviar.

4.1. Canvis respecte l'anterior algorisme

El que s'ha descrit abans era l'algorisme que es feia servir al primer prototip, aquest algorisme es va tindre que polir per tal de millorar-ne les prestacions i eliminar-ne el retard entre el moviment real i el que s'apreciava a la pantalla.

El primer que es va fer va ser utilitzar les interrupcions del microcontrolador que fins ara no es feien servir. Aquestes interrupcions són l'eina més important per a sincronitzar l'execució del programa amb esdeveniments externs. Si està activada, no es més que un salt a una subrutina produïda per un esdeveniment extern al programa.

Per a les pulsacions dels botons farem servir la interrupció del port B que és dona quan hi ha un canvi d'estat als pins B1 a B4, així si sense prémer cap botó tenim 3 V a l'entrada i quan el premem en tenim 0 V. Aquest flanc es detecta i ens porta a una part del codi on s'analitza una part de codi que pertany als botons i que no té per que fer-se en cada cicle del bucle principal com es feia abans. També utilitzarem la interrupció externa del pin B0 amb la que podem escollir si es dona al flanc de pujada o al de baixada.

Aquesta forma de detectar el canvi dels polsadors se'n diu per interrupció i a diferència de l'enquesta que fèiem servir abans, només perdem temps per temes de les pulsacions dels botons quan és necessari. Els botons de clic esquerre, arrossegat/soltar i doble clic estaran connectats als pins del port B4 a B7 i el clic dret al pin B0.

Lavors el nou diagrama de blocs de l'algorisme quedaria com a la **Fig. 4.2**:

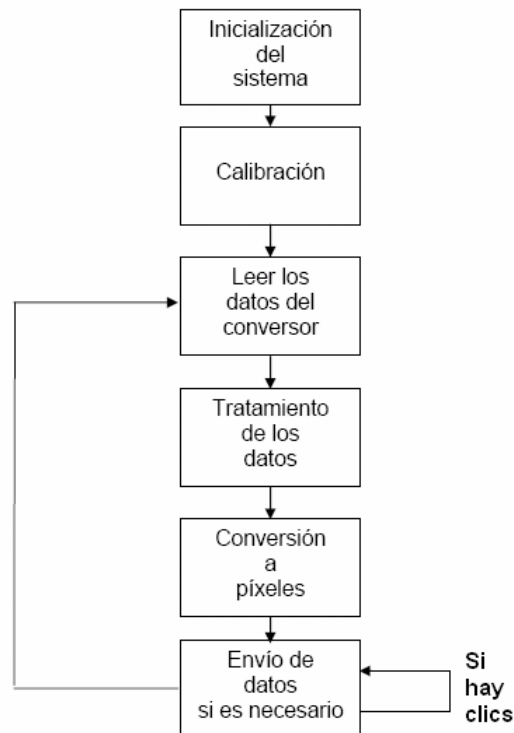


Fig. 4.2 Nou diagrama de blocs de l'algorisme

Un altre dels canvis significatius és el fet que ara amb pulsacions llargues dels botons controlarem aspectes del ratolí que abans no contemplàvem. El temps que prenem per pulsació llarga pot dependre de cada usuari i és fàcilment configurable mitjançant una variable del codi del microcontrolador.

Amb una pulsació llarga del botó dret, o del seu respectiu polsador, farem que el sistema passi a un estat de baix consum el qual serà gairebé equivalent a apagar el dispositiu degut a que les pèrdues seran molt petites. L'avantatge serà que amb aquesta acció l'usuari pot apagar el sistema des d'un polsador sense necessitar d'accedir a l'interruptor de la caixa, moviment que possiblement la majoria d'usuaris als que va adreçat el ratolí no pot realitzar.

També farem que amb un pulsació llarga dels botons dret i esquerre a la vegada es faci el desemparellament, s'enviarà una senyal al mòdul BT per a que aquest esborri de la seva memòria el dispositiu amb el qual estava emparellat.

A part d'aquests canvis també es van modificar part de la conversió de les mostres del conversor A/D a píxels i d'altres aspectes del processat del moviment.

I per últim se li han inclòs dos LEDS per a indicar en quin estat ens trobem parpelleig verd simple cada segon quan estem connectant-nos amb l'ordinador, verd doble quan estem connectats i vermell si hem realitzat bé la pulsació llarga per a desemparellar-nos.

4.2. **Feedback amb usuaris i inclusió de recomanacions**

Després de fer aquestes modificacions es va poder comprovar que efectivament s'havia millorat en l'aspecte dels rebots i el retard ja que com s'esperava l'algorisme s'executa més ràpidament. Vist que funcionava com desitjàvem es va procedir a fer proves i mostrar el funcionament del ratolí al tutor del projecte, Roberto Casas i a Borja Romero de B&J Adaptaciones .

A partir de les seves opinions i recomanacions es van fer els següents canvis o ajustaments al ratolí:

- La zona morta es fa igual per als dos modes de funcionament i més petita del que era, ja que no és còmode, ni necessari, inclinar tant el *joystick* per aconseguir moviment del punter.
- Les seqüències amb els LEDs poden resultar confuses i per tant s'han de fer més senzilles de cara a l'usuari. Ara parpelleig vermell indica que no podem fer servir el ratolí, verd que ja està llest i funcionant i ambdós a la vegada que ens hem fet el desemparellament correctament.
- Per a seleccionar el mode de funcionament es proposa fer-ho amb un interruptor de tres posicions que serà el mateix que per encendre i apagar. Llavors tindrem *ON+MODE1*, *ON+MODE2* i *OFF*.
- Es va ajustar la velocitat de desplaçament del cursor, o sigui, el valor de la constant per a la conversió valor digital de l'acceleròmetre a desplaçament en píxels a la pantalla.
- Una de les aportacions importants va ser l'apreciació que en mode bàsic, amb velocitat constant i quatre eixos, no era possible fer moviments precisos o era complicat. Això era degut a que com hi ha un major filtrat es tarda una mica més en arrencar i parar si fem moviments breus i quan s'aconsegueix moure el punter l'increment és relativament gran com per encertar en un punt pròxim al punter, per exemple encertar en un botó d'una finestra. Per solucionar-ho es va incloure una zona de precisió entre la zona morta i la normal, on l'increment de píxels és més petit (**Fig. 4.3**).

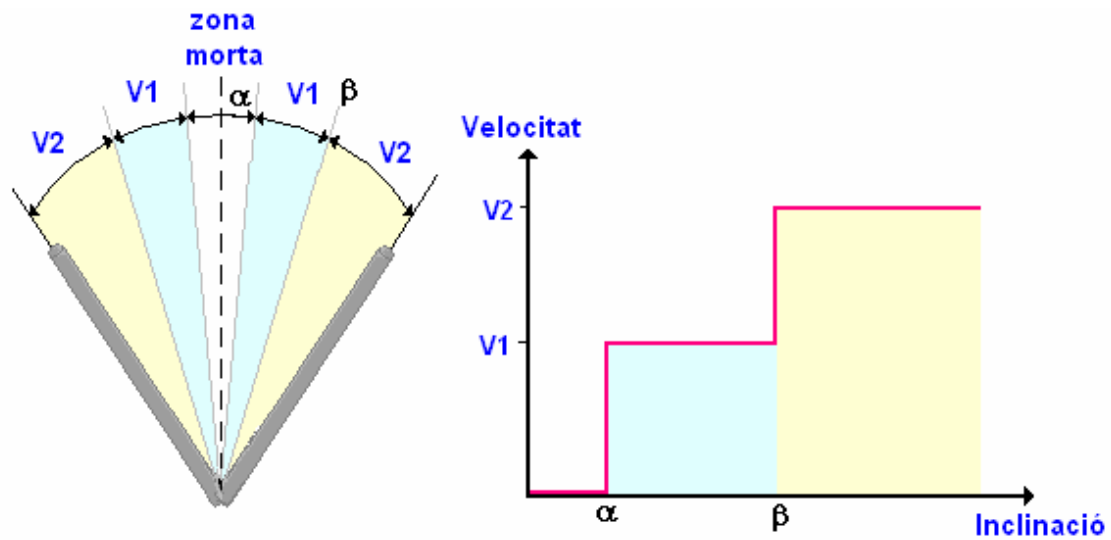


Fig. 4.3 Nova relació inclinació - velocitat del mode bàsic

- Es va comentar que estaria bé poder desconnectar fàcilment l'acceleròmetre de la caixa on va l'electrònica.

A mesura que anaven sorgint aquests suggeriments s'anaven incorporant al firmware del nostre ratolí. Fixant-nos amb aquestes observacions, es va retocar el firmware incloent les modificacions suggerides pels usuaris.

CAPÍTOL 5. DISSENY DEL PROTOTIP FINAL

En aquest capítol veurem com s'ha intentat solucionar el problema de la subjecció del sensor d'inclinació que s'ha de ficar al *joystick* de la cadira de rodes, també veurem la llista de components que s'han escollit per al prototip i finalment el disseny de la placa de circuit imprès.

Com el baix cost és una de les línies que es segueix a l'hora d'escollir components, potser s'opta per elements de pitjors característiques però de preu més baix i que podem comprar a distribuïdors espanyols de components electrònics que venen al detall com ara Onda Radio [19], Farnell [20] o RS [21]. També es descarten integrats molt petits, que reduirien les mides mínimes de la placa de circuit imprès, per que presenten moltes dificultats per soldar-los ja que requereixen d'equipament especial, experiència i habilitat en la seva manipulació i per tant més temps de muntatge.

5.1. Subjecció i connexió del sensor d'inclinació

Un dels punts més importants des de l'inici d'aquesta segona part del projecte era resoldre com subjectar i connectar l'acceleròmetre a la palanca de la cadira. El problema és que ha de quedar fortament fixat, ja que si es mou mentre l'estem fent servir es descalibraria i hauríem d'apagar-lo i tornar-lo a encendre per tornar a fer el calibratge. També en la forma de subjectar-lo roman un dels principals motius per a que pugui tenir una bona acceptació, ja que si el fet de dur aquest dispositiu treu comoditat al dia a dia amb la cadira pot fer que aquest usuari vegi més desavantatges que avantatges a dur-lo.

Ja des del principi de les proves és va fer una placa molt petita pel circuit integrat amb l'acceleròmetre per tal de facilitar que aquesta es pugui situar sense molestar. Per fer-nos una idea el costat de la placa de l'acceleròmetre de la **Fig. 5.1** mesura 6 mm.

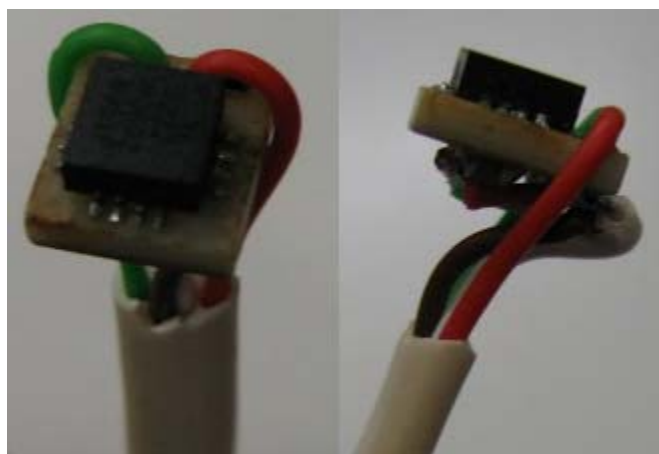


Fig. 5.1 Acceleròmetre i la seva placa

També es va anar a una ortopèdia per veure els diferents tipus i formes de *joystick* (**Fig 5.2**) que podem trobar entre els fabricants més importants de cadires de rodes elèctriques. Aquests podrien ser Invacare , Otto Bock ò Sunrise Medical, potser se'n podrien incloure més però la diferència entre els controls no és gaire gran entre marques. En resum ens trobem davant de controls més o menys cilíndrics d'uns 17 mm de diàmetre.



Fig. 5.2 Comandament d'una cadira Invacare

Un cop vist això es va fer una pluja d'idees sobre el que demanàvem d'aquesta subjecció. En resum es va decidir que es volia que fos còmoda per l'usuari, que es pogués treure i ficar fàcilment, que fos de baix cost, senzill de fabricar, resistent a salpicades i que la seva posició fos unívoca.

Una de les idees era la de ficar dintre d'una caixa molt petita i fixar-la al *joystick* el problema que es va trobar es que les caixes que hi ha al mercat són massa grans com per a que fos còmode. Finalment es va decidir folrar la placa de circuit imprès on va l'acceleròmetre amb plàstic termoretractable, que és un tipus plàstic que amb l'escalfor s'encongeix i es queda més rígid, aquest agafa la forma de la placa i el cable donant rigidesa a aquesta unió i aconseguint que no es mogui. A de més ens protegeix la placa contra la pols i els líquids.

L'acceleròmetre ara el podem ficar al *joystick* amb brides molt petites i fins i tot amb cinta aïllant, com a solució per a escoles o llocs on molts usuaris el podrien fer servir un rere l'altre.

Com ens proposàvem fer una solució de molt baix cost i demostrar que era vàlida i oberta a millores, el cable que es va fer servir és un cable telefònic normal de dos parells. Per tal de poder desconnectar-lo de la caixa amb l'electrònica li afegim un connector RJ9 el qual ens assegura aquest està ben ficat, ja que amb altres tipus de connectors és més complicat que quedi bé, aquest al grimpar-se sol donar menys problemes.

Per acabar amb aquesta part del disseny del prototip es va fer un esbós d'una peça de plàstic (**Fig. 5.3**) on al petit forat quadrat aniria l'acceleròmetre i que podria acoblar-se a gairebé tots els comandaments.



Fig. 5.3 Peça per a la subjecció de l'acceleròmetre

5.1.1 Peça definitiva per a la subjecció del sensor

Partint d'aquesta última idea i prenent la màxima de que tots els *joysticks* es poden treure del seu eix i que la barra de ferro que forma aquest eix no fa més de 0,6 mm de diàmetre, a BJ Adaptaciones estan treballant per resoldre el problema de la subjecció amb la solució de la següent figura (**Fig. 5.4**):

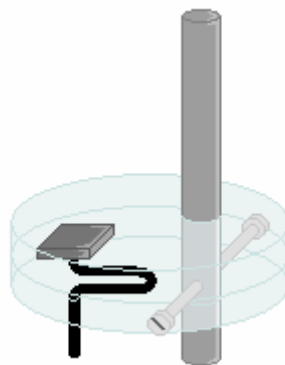


Fig. 5.4 Peça definitiva per a la subjecció

També consistiria en un disc, que té marcat el sentit de la orientació correcta, amb un forat per passar l'eix però aquest disc està tallat pel mig com si fos un pa d'hamburguesa, d'aquesta manera s'allotjaria el sensor en l'espai que hi ha fet entre els dos discs i al tancar-lo queda més ben protegit. S'hauria d'emprar un cable de menor diàmetre i es podria fer un petit laberint per passar el cable per ell, evitant que la força de les possibles estirades del cable es fessin a les soldadures i que es fessin al cable en si que és més resistent.

Per tal de fixar el disc i que aquest no girés al voltant de l'eix es farien dos forats amb la paret roscada per ficar dos cargols que farien pressió directament sobre l'eix de la palanca, així quedaria fortament fixat el sensor al *joystick*.

5.2. Recerca de components i pressupost

La resta de components més rellevants són els següents:

- S'escull un interruptor de palanca de mida subminiatura i tres posicions ON-OFF-ON d'Onda Radio amb referència IT0612. Si movem la palanca a un costat escollirem el mode de funcionament 4 eixos, al mig estarà apagat i a l'altre costat serà el mode omnidireccional. Així s'elimina la dificultat de prémer un botó alhora que encenem el dispositiu, que era com es pretenia escollir el mode en un principi.
- Bases de connector minijack el més petites possibles. Com volem ficar els quatre connectors a un costat de la caixa, això ens limitarà en el poder escollir una caixa més petita. El trobem a Farnell amb el codi MJ2235.
- Per a la caixa es fa una recerca extensa, partint de les mides mínimes que ens fixa l'amplada dels jacks un al costat de l'altre. També necessitem que tingui compartiment portapiles per dos de tipus AA i que sigui especial per poder allotjar i cargolar la PCB (Placa de circuit imprès) amb tots els components electrònics. El model RC24 2AA (**Fig. 5.5**) de la casa Pactec Enclosures [22] se'ns ajusta a aquestes necessitats.



Fig. 5.5 Caixa RC24 2AA

Queden components més bàsics com resistències i condensadors que ja incloem directament al següent pressupost a la **Taula 5.1**:

Taula 5,1 Pressupost del dispositiu

Descripció	Model (Fabricant)	Preu unitat (€)	Quantitat	Preu total (€)
Diode smd	Ariston	0,08	2	0,16
Led bicolor	WO4003RV (Ari.)	0,17	1	0,17
Base jack	MJ2235(Farnell)	1,38	4	5,52
Trt. P-MOS	FDN304P (Fchld.)	0,62	1	0,62

Step up	MAX1674 (Max.)	2,24	1	2,24
Mòdul Bluetooth	WML-C20 (Mits.)	20	1	20,00
Tira de poste	Ariston	0,16	1	0,16
Integrat 2 x AO	OPA2335 (TI)	2,75	1	2,75
Connector RJ9	CT044 (Ariston)	0,06	1	0,06
Base RJ9	95001-2441 (Molex)	1,08	1	1,08
Cable telèfonic	MT4B (Ariston)	0,17	1	0,17
Minipolsadors	P42Z (Ariston)	0,27	2	0,54
Polsador smd	Ariston	0,62	1	0,62
Acceleròmetre	ADXL322 (Ana.)	7,80	1	7,80
µC	PIC16LF767 (Mcp.)	3,04	1	3,04
Interruptor 3 p.	IT0612 (Ariston)	1,17	1	1,17
Inductor 22 µH	DT1608C-223MLB (Coilc.)	1,02	1	1,02
Caixa	RC-24-2AA (Pac.)	4,40	1	4,40
Resistència smd	MFS (Ariston)	0,04	15	0,6
Conden. smd	Ariston	0,05	7	0,35
Conden. tàntal	TPS47 (AVX)	0,75	2	1,50
TOTAL				53,97 €

Fchld→Fairchild, Max→Maxim, TI→Texas Instruments, Mits→Mitsumi, Mcp→Microchip, Coilc→Coilcraft, Pac→Pactec. Ans→Analog Devices

S'ha de tindre en compte que aquest preu és bastant orientatiu degut a que hi ha moltes variables a l'hora de calcular el preu exacte del dispositiu. Aquest pot variar molt depenent de les quantitats que s'adquireixin de cada component, de si l'empresa té una línia de descompte amb algun distribuïdor o si també hem de tindre en compte les despeses d'enviament dels components. Aquest últim punt també s'ha intentant minimitzar escollint components que hem trobat a distribuïdors d'electrònica de l'estat espanyol.

També faria falta fer una aproximació del preu de la mà d'obra necessària per soldar components, mecanitzar la caixa, fabricació peça de subjecció, de la PCB i d'un adhesiu per a la part superior.

S'ha demanat a BJ Adaptaciones quines són les condicions comercials que tindria per un producte de similars característiques.

- Normalment en quant a compra de components gaudeixen d'un descompte al voltant del 30 % respecte al preu oficial del catàleg dels distribuïdors al detall i més si compren a majoristes. Depenent del tipus de component i del distribuïdor.
- En quant a fabricació en sèrie de les plaques de circuit imprès, peces mecanitzades com la de subjecció del sensor i adhesius, requereixen

d'una forta inversió inicial de posta en marxa de màquines, generació de documentació per al mecanitzat i altres aspectes que s'ha de tindre en compte de cara a calcular el preu d'una sèrie.

- La soldadura de components per a grans sèries de producció s'encarrega a una empresa a un preu d'uns 0,05 euros per component a soldar i un tant per placa a soldar. Encara que per tirades curtes ho fan ells mateixos al seu taller.
- S'ha de tindre en compte com a mínim una hora de mà d'obra per a muntatge final, tests del producte i empaquetatge.

La següent taula (**Taula 5.2**) conté el cost aproximat que representaria per a l'empresa la fabricació d'una sèrie del producte amb unes sèries entre 25 i 100 unitats:

Taula 5.2 Costos aproximats de fabricació.

	Cost inicial (€)	Cost per unitat (€)	Observació
Components electrònics		37,80	53,97 € + desc. 30%
PCB	350	3,00	
Suport sensor	800	6,00	
Adhesius	250	0,30	
Soldadura	-	2,50	Empresa externa
Manipulació	-	20	1 hora x 20 €/hora
TOTALS	1400	82,10	

Per tant tenim uns costos inicials de 1400 € que s'han de tenir en compte a l'hora de calcular el preu real de cada unitat i sumar-los al cost totes les unitats. Per tant el preu d'una unitat el calculem seguint la següent equació (**5.1**):

$$Cost\ real\ unitari = \frac{TOTAL\ Cost\ inicial + (TOTAL\ per\ unitat \times núm.\ d'\ unitats)}{número\ d'\ unitats} \quad [€] \quad (5.1)$$

Així el cost unitari per a produccions de 25 i 100 productes seria el següent:

Taula 5.3 Cost de fabricació per unitat en sèries de 25 i 100 unitats:

Cost unitari, sèrie 25 unitats	138,10 €
Cost unitari, sèrie 100 unitats	96.10 €

Com podem veure a més gran és la sèrie menys cost suposa la producció d'una unitat, incrementar la sèrie suposa preus més baixos per part dels proveïdors i més amortiment de les despeses inicials que encara faria davallar més aquest cost.

5.3. Disseny de la PCB

Finalment hem de dissenyar la placa de circuit imprès (PCB) on ubicarem tots aquests components, la qual anirà dintre de la caixa de Pactec subjectada amb uns cargols.

Per fer una primera disposició de components (**Fig. 5.6**) només hem de tenir cura de situar els connectors jack, l'interruptor de palanca, els pulsadors i el led bicolor més o menys al lloc on han de sortir de la caixa.

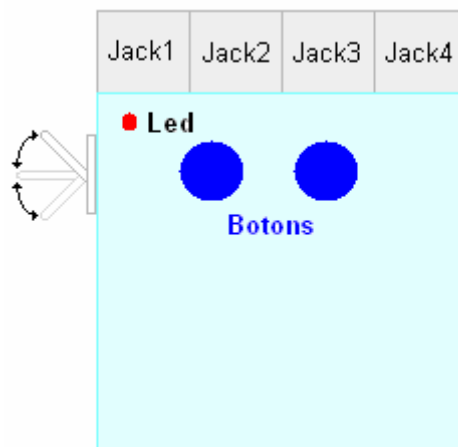


Fig. 5.6 Situació dels components que surten de la caixa

Amb el programa P-CAD dissenyem l'esquemàtic del circuit (Annex 3) i després es va procedir a fer el traçat o *layout* d'una placa amb pistes a ambdós cares però amb els components a una sola cara, per facilitar la soldadura (Annex 4).

El resultat final de tot el procés va ser el que podem veure a la **Fig. 5.7**.

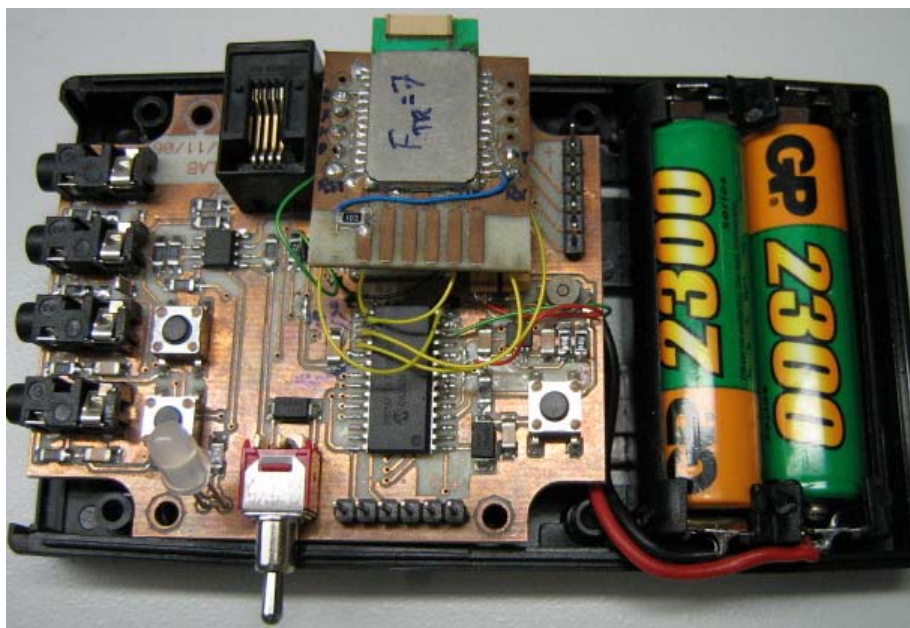


Fig. 5.7 Fotografia del prototip

CAPÍTOL 6. PROVES AMB EL PROTOTIP FINAL

Un cop ja es va fer la placa i es van soldar els components es va procedir a la verificació del seu funcionament. En un principi, com s'ha dit anteriorment, es volia aprofitar un mode de baix consum de l'*step up*, però va donar problemes d'estabilitat de la tensió d'alimentació que ocasionaven un mal funcionament del mòdul BT que requereix un voltatge molt estable i sense pics de tensió.

Solucionat aquest inconvenient i fetes algunes modificacions per solucionar algun petit error de disseny que s'ha arreglat per a les versions comercials del producte. Es va procedir a mesurar el consum del dispositiu final i a fer proves amb més usuaris.

6.1 Consum

Com ja em comentat en el subapartat 3.4 no és trivial donar una xifra del consum d'un dispositiu d'aquestes característiques. Ja sigui pels diferents modes de funcionament que té o que l'usuari el pot utilitzar de maneres molt diferents, no és el mateix estar llegint un document on el ratolí a penes el movem que estar fent un dibuix on ho fem contínuament.

Per tant la referència que prenem de consum aproximat, és quan tenim el ratolí encès però en repòs sense moure el sensor per tant sense enviar paquets via BT, quan tenim el ratolí apagat via el mode de baix consum i quan s'està connectant.

Hem obtingut els següents valors:

- En repòs i en mode totes direccions: 8 mA.
- En repòs i en mode polsador: 15 mA.
- A l'encesa del dispositiu: de 40mA a pics de 100 mA. Això es degut a que s'emet amb més potència per trobar altres dispositius BT.
- En mode baix consum tenim un consum aproximat de 20 μ A que dependrà de la càrrega de les bateries i el consum del pujador de tensió per a arribar als 3,3 V a la sortida.

Per tant podem fer una aproximació i dir que el nostre dispositiu amb unes bateries de 2500 mAh podria estar encès i en repòs (consum al voltant de 8 mA) durant unes 300 hores aproximadament.

6.2 Proves amb usuaris

Com a últim pas del projecte restava fer proves amb usuaris. Es van fer dos sessions de proves, una primera amb en Joaquín Romero gerent de BJ Adaptaciones afectat d'esclerosi múltiple que es trasllada amb cadira de rodes elèctrica i una segona amb un grup de professionals del Servei de Recursos de

CFPE Pont del Dragó els quals valorarien les proves des d'un altre punt de vista.

Aquestes proves es van realitzar amb el prototip final però sense la peça per la subjecció de l'acceleròmetre, pendent de fabricació, i sense la mecanització final de la caixa.

6.2.1 Proves amb Joaquín Romero

Com hem comentat abans Joaquín Romero és un home de 39 anys afectat d'esclerosi múltiple, una malaltia neurodegenerativa, progressiva i incurable. Aquesta malaltia fa que vagi perdent mobilitat progressivament i també la precisió dels seus moviments.

6.2.1.1 Situació actual

Actualment no té mobilitat a les cames el que l'obliga a traslladar-me amb una cadira de rodes automàtica. El control de la mateixa el fa mitjançant un *joystick* que controlo correctament amb la mà dreta.

Per a ell l'ordinador és una eina clau, ja que li permet el control de la seva llar i és la seva principal eina de treball. A dia d'avui pot fer servir un ratolí convencional, en canvi això l'obliga a acostar-se molt a la taula i haver de treure els peus del reposapeus de la seva cadira, acció que no pot desfer de forma autònoma, requerint l'ajuda d'una segona persona.

Joaquín, sempre s'ha anticipat al progrés de la seva malaltia i considera que l'ús del ratolí des del *joystick* de la cadira de rodes li donaria autonomia personal.

6.2.1.2 Proves realitzades

En primer lloc es va instal·lar una clau BT al seu ordinador, el ratolí a la cadira (**Fig. 6.1**) i es van emparellar ambdós dispositius.



Fig. 6.1 Detall de la ubicació del ratolí

Tot seguit se li va explicar a Joaquín com podia controlar el ratolí. Inicialment li va costar una mica adaptar-se a la nova forma de control, ja que amb el *josy tick* és suficient mantenir una posició diferent de la de repòs per a que el punter es mogui. La diferència amb un ratolí convencional és que amb el segon per a que el punter es mogui ha d'haver un moviment constant de la mà.

Passats uns instants de seguida es va adaptar a l'ús i li va semblar fàcil i intuïtiu. Per fer els clics es va fer servir un pulsador extern del tipus BJ-112.

6.2.1.3 Aspectes positius destacats

- Senzillesa d'ús.
- Fiabilitat i precisió.
- Bon compromís entre zona morta, velocitat i acceleració.
- L'autonomia que ofereix a l'usuari.
- Possibilitat d'adaptar-lo a la seva cadira de rodes.
- Que es tracta de tecnologia sense fils.

6.2.1.4 Aspectes a millorar destacats

- Millorar l'aspecte final de la caixa. Se li comenta que això entraria en una fase posterior d'industrialització.
- Millorar el sistema de subjecció mecànica del sensor.
- Dificultat per veure la informació que ofereix el LED quan la caixa està col·locada.

6.2.1.4 Valoració final de la primera prova

La valoració global per part de l'usuari és positiva. Per la nostra part els dos primers aspectes es solucionaran en un futur i el tema del LED es complica de resoldre ja que si volem ubicar la caixa en un lloc on no molesti possiblement estarà amagada per a la vista i no podrem veure'l.

6.2.2 Proves amb professionals del CFPE Pont del Dragó

Pont del Dragó és un centre educatiu municipal adreçat a persones amb disminució física. El centre pretén proporcionar una millor qualitat de vida mitjançant la utilització de les tecnologies de la informació i de la comunicació com a eines, així com estratègies aplicades de forma individualitzada per tal de facilitar la major autonomia personal i social.

6.2.2.2 Proves realitzades

Es va mostrar el producte per part de BJ Adaptaciones als professionals del centre en una sessió de valoració d'ajudes tècniques. L'equip estava compost

per una terapeuta ocupacional, una fisioterapeuta, una logopeda y professors del centre.

Se'ls va ensenyar el producte funcionant sobre un *joystick* del tipus Roller II. Els diferents professionals el van provar, fent preguntes sobre el funcionament i mostrant la seva opinió.

6.2.2.3 *Aspectes positius destacats*

- Integració de la interfície. De la mateixa manera que es controla la cadira de rodes es pot controlar el ratolí.
- L'autonomia que proporciona a l'usuari.
- Senzillesa. Es tracta d'una ajuda gairebé invisible.
- La possible adaptació a diferents cadires de rodes per usuaris amb control per mentó, mà o peu.
- No afecta a l'electrònica de la cadira de rodes i per tant no donarà problemes de garantia.

6.2.2.4 *Aspectes a millorar destacats*

- Millorar el sistema de subjecció mecànica.
- Possibilitat de fer una versió USB per a usuaris que porten l'ordinador a la cadira de rodes.

6.2.1.4 *Valoració final segona prova*

Van valorar molt positivament la idea. Li agradaria que estigués en fase de comercialització per poder-lo instal·lar a diferents usuaris.

Comenten que ells havien intentat fer alguna cosa similar però intervenint sobre l'electrònica de la cadira de rodes, amb els problemes que això comporta.

CONCLUSIONS

7.1 Conclusions

Des de l'inici d'aquest projecte quan l'Olalla Romero va començar a treballar-hi hi havia objectius que eren d'assoliment obligatori si el volíem donar per finalitzat. El principal era el disseny i creació d'un ratolí per a tot tipus de cadira de rodes independentment del tipus de comandament, però aconseguir un ratolí que no complís la resta d'objectius i/o requeriments no ens hagués servit de gaire.

Si el ratolí no fos de baix cost en comparació amb les possibles alternatives, fos invasiu a la cadira de rodes i per tant perdéssim la garantia de la mateixa, tingués un elevat consum amb la problemàtica del canvi de bateries per als usuaris, no fos fiable, senzill d'utilitzar o el seu domini representés una nova barrera a superar, entre d'altres, tot el projecte no hagués tingut sentit.

Des del primer dia estava clar que per sobre de tot existia l'objectiu no escrit de materialitzar un ajut per a persones que ho necessitaven i a les quals un dispositiu com en el que hem estat treballant els podria ser d'ajut per a millorar la seva autonomia i la seva qualitat de vida. Aquest ratolí s'ha dissenyat pensant en que fos adaptable a la cadira de rodes elèctrica de tot tipus d'usuari per tal de poder ajuda

Les primeres impressions d'usuaris que em obtingut del ratolí Bluetooth per a cadira de rodes són positives i fan pensar que s'ha treballat en el sentit correcte, buscant les millors prestacions del producte sense penalitzar a l'usuari per al qual la majoria de la feina que hem fet li és transparent.

S'han assolit els objectius fixats per a aquesta segona part del projecte com serien l'adaptabilitat del ratolí al major tipus de *joysticks* diferents i la subjecció de l'acceleròmetre al mateix, solucionat amb la peça de subjecció que és universal per a qualsevol tipus de comandament. Solucionar els problemes del retard, funcionament amb inclinació en repòs, fiabilitat, estabilitat i senzillesa d'ús que s'ha aconseguit treballant sobre l'algorisme del microcontrolador. També s'ha treballat en l'aspecte de la gestió energètica intentant minimitzar el consums. Finalment es fa un nou disseny del dispositiu i es passa a fer proves amb usuaris que era un punt important després de tota la feina feta fins llavors, i que van ser satisfactòries.

Respecte als objectius ficats en el primer capítol, només faltaria entrar en el tema de proves d'homologació i compatibilitat electromagnètica però al ser un tema molt extens, llarg de documentar i que s'ha de fer amb el disseny industrial del ratolí és deixa en mans de BJ Adaptaciones on possiblement encarreguin les proves a una empresa externa.

Manca ara veure com BJ Adaptaciones acaba aquesta iniciativa, la comercialitza i distribueix de manera que pugui ajudar al màxim de persones

possible. Després d'això podrem treure conclusions més enllà d'aquest TFC i veure el verdader abast del projecte.

7.2 Perspectives de futur

Com sempre, a mesura que es treballa en alguna cosa concreta durant molt temps toca fixar un final i definir possibles camins a seguir a partir del que nosaltres hem marcat i que ja sigui per falta de temps, de mitjans o per altres factors no em pogut agafar i potser seria interessant caminar per ells.

Entre aquests camins el primer a recórrer seria el que a dia d'avui està recurrent BJ Adaptaciones que consisteix en l'acabament de la solució per la subjecció mecànica de l'acceleròmetre. La construcció definitiva que corre per part de l'empresa és la clau per obrir el ratolí a tots els tipus d'usuaris i no marginar-ne a uns quants per com controlen la cadira.

A les proves a l'escola Pont del Dragó va sorgir la pregunta sobre la possibilitat de fer un model que es comuniqués amb l'ordinador via USB i no per Bluetooth ja que hi ha usuaris que porten un TabletPC a la seva cadira. És una de les variants més interessants per treballar en un futur.

També es poden realitzar millores estètiques que farien el producte més atractiu per a l'usuari ja que ara s'ha treballat més en la seva funcionalitat que en la part visual del mateix, deixant aquest tema per a una fase posterior.

Mitsumi ha tret recentment al mercat un nou model de mòdul BT de similars característiques que el que hem emprat però d'un consum més baix. Segurament que la diferència de preu entre ambdós dispositius no deu ser molt gran en comparació a poder reduir el consum del component que més en té de tot el dispositiu.

Per poder comercialitzar el dispositiu haurà de passar les pertinents proves per poder homologar-lo, ja sigui de compatibilitat electromagnètica com de normativa d'equips de baixa tensió.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://isi.upc.es/>
- [2] www.bj-adaptaciones.com
- [3] Romero Granados, O. *TFC Ratón Bluetooth para discapacitados (I)*.
Febrer 2006. <https://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3570>
- [4] spanish.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Works/Profiles_Overview.htm
- [5] <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CADXL311%2C00.html>
- [6] www.microchip.com
- [7] <http://www.mitsumi-components.com/Catalog/hifreq/commun/wml/c20/text01e.pdf>
- [8] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30498c.pdf>
- [9] <http://www.mikroe.com/en/tools/picflashwcd/>
- [10] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30277d.pdf>
- [11] http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA6280QT.pdf
- [12] <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CADXL322%2C00.html>
- [13] <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/opa2335.html>
- [14] http://www.duracell.com/ar/comunes_recargables.asp
- [15] <http://www.gpbatteries.com.hk/pic/GP270AAHC-r0.pdf>
- [16] http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1878
- [17] <http://www.fairchildsemi.com/pf/FD/FDN304P.html>
- [18] http://www.gpbatteries.com.hk/html/pdf/NiMH%20_Rechargeable.pdf
- [19] <http://www.ondaradio.com>
- [20] <http://es.farnell.com/>
- [21] www.amidata.es
- [22] http://www.pactecenclosures.com/Plastic-Enclosures/RC-24-9VB_2AA.html

ANNEXOS

Annex 1. Gràfics amb la relació V/g en cada eix de l'acceleròmetre.

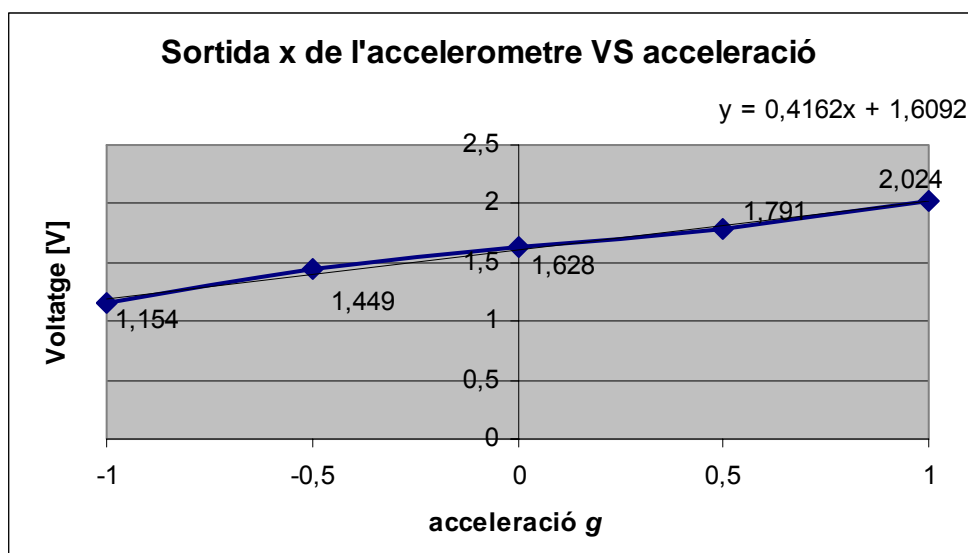


Fig. Annex 1.1 Sortida x de l'acceleròmetre a diferents inclinacions

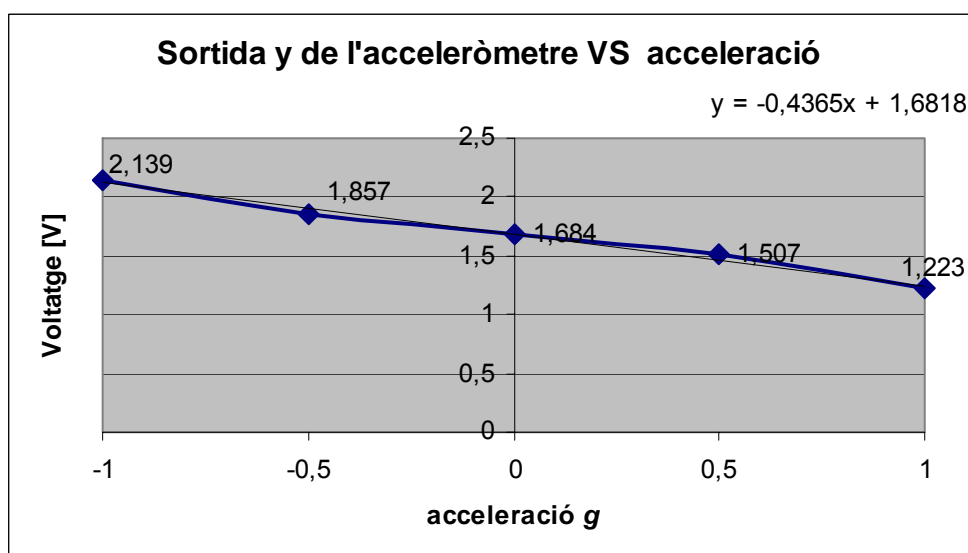


Fig. Annex 1.2 Sortida y de l'acceleròmetre a diferents inclinacions

Annex 2. Bateries GP i piles Duracell

Observar que el consum del nostre dispositiu seria inferior a 250 mA i per tant la corba encara ocuparia més hores. Aquí també podem veure el diferent comportament d'unes piles alcalines AA i unes bateries AA de Ni-MH. Unes mantenen un nivell de tensió més constant que les altres i tenen una caiguda més pronunciada.

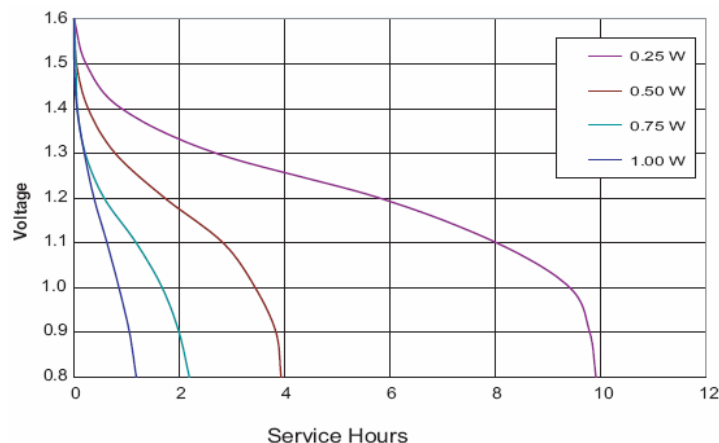


Fig. Annex 2.1 Corba de descàrrega d'un pila Duracell Ultra MX1500

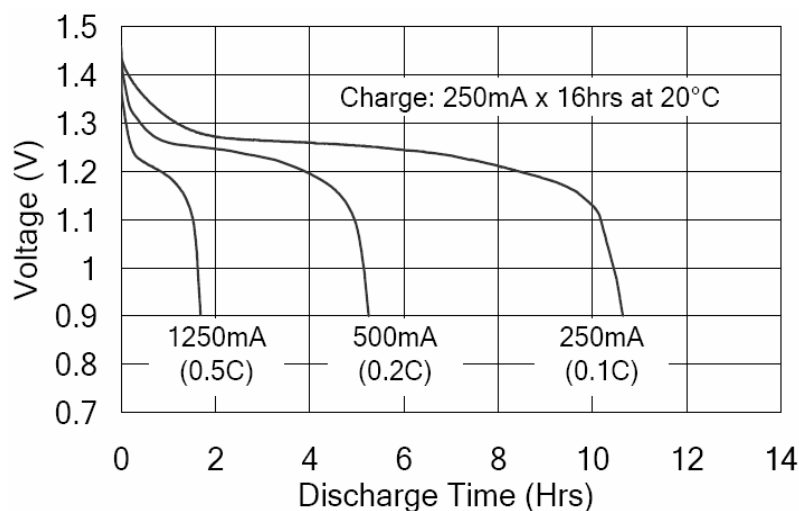


Fig. Annex 2.2 Corba de descàrrega d'una bateria Ni-MH GP270AAHC.

Annex 4. Placa de circuit imprès del ratolí

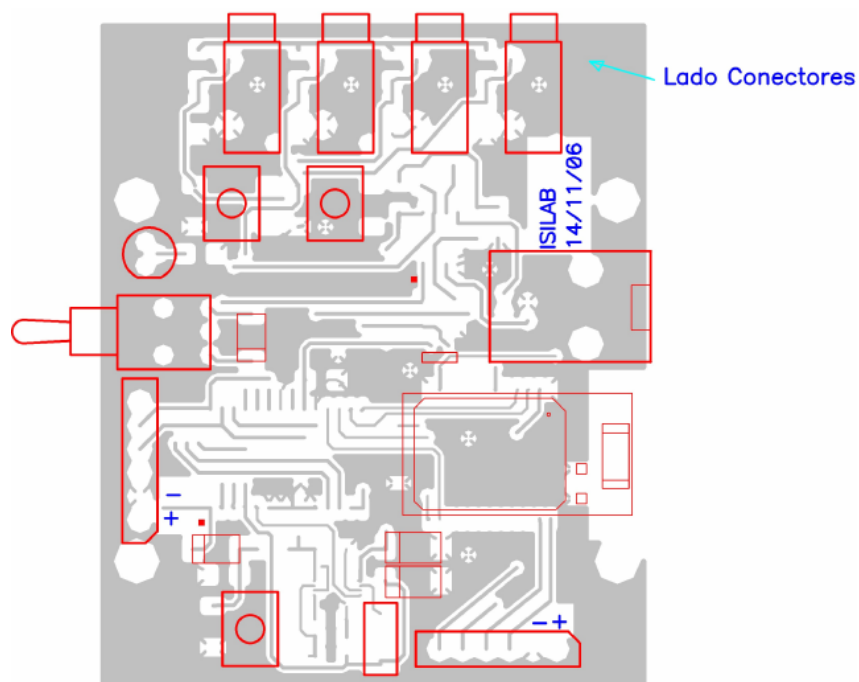


Fig. Annex 4.1 Cara superior de la PCB

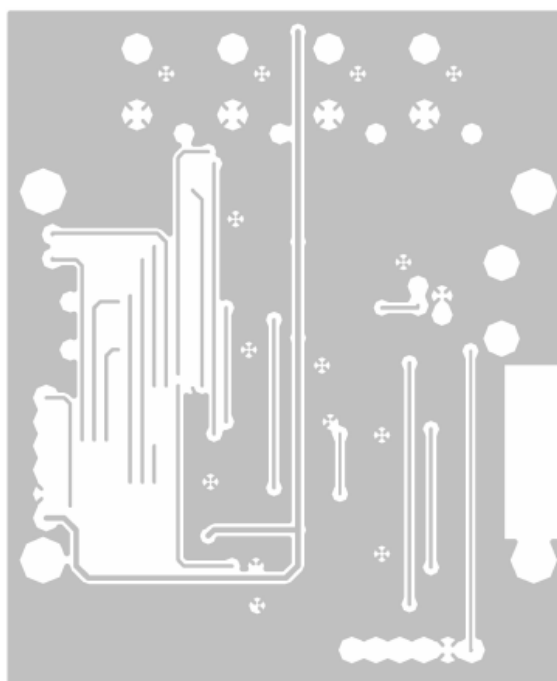


Fig. Annex 4.2 Cara inferior de la PCB